

NO 31 (EK SAYI/SUPPLEMENT 1)  
ARALIK/DECEMBER 2021

# EUROPEAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi



E-ISSN 2148-2683

<https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat>

**Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ**  
Editor-in-Chief and Editor

**Prof. Dr. Hüseyin TOROS**  
Editor

**Prof. Dr. Ahmet DOĞAN**  
Editor

**Editorial Board Members**

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ  
Subjects: Food Sciences and Engineering  
Institution: Yildiz Technical University

Prof. Dr. Tuncay GÜMÜŞ  
Subjects: Food Sciences and Engineering  
Institution: Namık Kemal University

Prof. Dr. Hüseyin TOROS  
Subjects: Engineering  
Institution: Istanbul Technical University

Assoc. Prof. Dr. Juliana JALALUDIN  
Subjects: Air Pollution and Control, Environmental Sciences  
and Engineering  
Institution: Universiti Putra Malaysia, Faculty of Medicine  
and Health Sciences, Department of Environmental and  
Occupational Health

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN  
Subjects: Environmental Sciences and  
Engineering, Geological Sciences and Engineering, Civil  
Engineering  
Institution: Yildiz Technical University

Asst. Prof. Dr. Abdulatef AHHMED  
Subjects: Meat Technology  
Institution: Aljfarah University

Prof. Dr. Osman TAYLAN  
Subjects: Energy Systems Engineering, Machine  
Learning, Quality Management, Artificial  
Intelligence, Multiple Criteria Decision Making, Fuzzy Logic  
Institution: Department of Industrial Engineering, Faculty of  
Engineering, King Abdulaziz University.

Prof. Dr. İskender AKKURT  
Subjects: Physics, Computer Sciences and Engineering  
Institution: Suleyman Demirel University

The European Journal of Science and Technology (EJOSAT) is a scientific and peer-reviewed journal published online four times in January, April, August, and November. The European Journal of Science and Technology is scanned in indexes such as TR Index, Scilit, Index Copernicus, CiteFactor, International Innovative Journal Impact Factor, Eurasian Scientific Journal Index, SJIFactor, DRJI, Scientific Indexing Services and Google Scholar.





- Deniz Savunma Uygulamaları için Sualtı Akustiğine Dayalı Yeni Bir Derinlik Sınıflandırma Yöntemi  
Orhan YAMAN, Emrah AYDEMİR  
Sayfa: 1 - 7
- Optimizasyon Tabanlı FIR Süzgeç Tasarımlarında Performans Analizi  
Mehmet Fatih KARAKAŞ, Fatma LATİFOĞLU  
Sayfa: 8 - 22
- Enerji Tüketim Tahmini İçin Farklı Regresyon Algoritmalarının Analizi  
Halit ÇETİNER, İbrahim ÇETİNER  
Sayfa: 23 - 33
- Gerçek Zamanlı Ses Tanıma ile Robot Kolu Kontrolü  
Serkan KESER  
Sayfa: 34 - 39
- Türkiye'de Uygulanan Güneş Evlerinin Karşılaştırmalı Olarak Analizi  
Çiğdem DİKMEN  
Sayfa: 40 - 54
- Kimyasal karışımlar için deneysel tasarım uygulamaları: Ergimiş tuz sisteminin iletkenliği üzerine bir örnek çalışma  
Oguz AKPOLAT, Atila GÖKTAŞ  
Sayfa: 55 - 60
- CBR Test Sonuçlarının Üç Eksenli Deney Sonuçları İle Korelasyonunun Değerlendirilmesi  
Mehmet ORHAN, Ali ATEŞ, Semih ŞENKAN  
Sayfa: 61 - 70
- Bulanık TOPSİS Yöntemi ile Bir Mobilya Fabrikası için Bölge Seçimi  
Ayşe Nilgün KAYADELEN  
Sayfa: 71 - 76
- Türkçe Sosyal Medya Yorumlarındaki Siber Zorbalığın Derin Öğrenme ile Tespiti  
Gözde NERGİZ, Erdiç AVAROĞLU  
Sayfa: 77 - 84
- S960QL Yapı Çeliğinin İşlenebilirliğinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi  
Rüstem BİNALİ, Süleyman YALDIZ, Süleyman NEŞELİ  
Sayfa: 85 - 91
- Araç Tavan Bagaj Taşıyıcısının Rastgele Titreşim Yorulma Analizi  
Ekrem GÜLSEVİNÇLER  
Sayfa: 92 - 103
- Ağ Saldırı Tespiti için Ağaç Temelli Makine Öğrenimi ve Derin Öğrenme Sınıflandırması  
Şeyma CİHAN, Murat AYDOS, Nihat Yılmaz ŞİMŞEK  
Sayfa: 104 - 113
- Kullanılmış Kahve Telvesinin Lif Kaynağı Olarak Değerlendirilme Potansiyeli  
Tuğçe BOÇA, Enes DERTLİ  
Sayfa: 114 - 120
- SCAPS-1D Simülasyonu Kullanılarak Perovskit Tabanlı Güneş Piline Farklı Delik Aktarım Katmanı Konfigürasyonlarının Performans Karşılaştırması  
Seyyedreza HOSSEİNİ, Nagihan DELİBAŞ, Mahsa BAHRAMGOUR, Alireza TABATABAEİ MASHAYEKH, Aligholi NİAİE  
Sayfa: 121 - 126
- Derin Öğrenme ile Nesne Taniyan Robot Uygulaması  
Uğur TALAŞ, Uğur YÜZGEÇ, Burakhan ÇUBUKÇU  
Sayfa: 127 - 133
- Bazik Yeşil-5'in Sulu Çözeltilerden Düşük Maliyetli Biyobozunur Bir Adsorban ile Adsorpsiyonunun Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi  
Dilek ÖZMEN, Özlem YILDIRIM  
Sayfa: 134 - 140

*Dinamik Sistemde İleri Nonlineer Denklemin Analizi*

Esen HANAÇ

Sayfa: 141 - 145

*Bir Tekstil Fabrikasının Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi*

Yusuf BAŞOĞUL, Taha Tuna GÖKSU, Mehmet Fırat BARAN

Sayfa: 146 - 150

*Yeni Di-[[[3-alkil]-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il]-azometin]-6-metoksi]-fenil Tereftalat Bileşiklerinin Sentezi ve Potansiyometrik Titrasyonları*

Sevda MANAP, Haydar YÜKSEK

Sayfa: 151 - 156

*Kısmi Gölgeleme Şartları Altındaki Kompleks Yapılı Fotovoltaik Enerji Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası Takibinin Metasezgisel Algoritmalar Kullanılarak İncelenmesi*

Ayşenur ÖZDEMİR, Nihat PAMUK

Sayfa: 157 - 164

*Bir Katamaran Motoryat Dizel Motorunda Bir Islak Egzoz Sisteminin İki Fazlı Sayısal Modellenmesi*

Alihan CAMBAZ, Yasin Furkan GÖRGÜLÜ, Halit ARAT

Sayfa: 165 - 170

*Akımsız Kaplama Tekniği ile Üretilen Seramik Esaslı Kompozitlerin Ultrases ile Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması*

Ahmet YÖNETKEN, Vildan ÖZKAN BİLİCİ

Sayfa: 171 - 175

*Farklı Emülgatörler Kullanılarak Oluşturulan Nanoemülsiyonların Domates Posasındaki  $\beta$ -Karotenin Biyoerişilebilirliğine Etkisi*

Merve TOMAŞ

Sayfa: 176 - 181

*İnternet Sayfası Verileri Kullanarak Kimlik Avı Web Sitelerinin Makine Öğrenme Tekniğiyle Tespiti*

Murathan OK, İlker KARA

Sayfa: 182 - 187

*Yem Kaynaklı Borun Gökkuşuğu Alabalığı (Oncorhynchus mykiss) Yağ Asidi Profiline Etkisi*

Mustafa ÖZ, Burak İNANAN, Suat DİKEL

Sayfa: 188 - 192

*Gıda ve Beslenme Açısından D-Tagatoz*

Hasan YETİM, İsmail Hakkı TEKİNER

Sayfa: 193 - 198

*Yeni Bir Kitleleşme Özelleştirme Platformu: Hyperledger Composer Kullanım Örneği*

Nursena BAYÇIN, Mehmet KARAKÖSE

Sayfa: 199 - 204

*Kablosuz Sensör Ağı ile Transfer Potası Takibi*

Meriç IŞIK, Özlem KARACA AKKAN

Sayfa: 205 - 211

*E-Devlet Kapısını Kullanmayı Etkileyen Faktörlerin Araştırılması*

Kamil ÇELİK, Mehmet ORHAN

Sayfa: 212 - 222

*Rüzgar Enerji Santrallerinin Kırsala Olan Sosyo-Ekonomik Etkileri ve Sosyal Kabulü*

İsmail Bülent GÜRBÜZ, Gülay ÖZKAN, Şeniz KORKMAZ

Sayfa: 223 - 231

*Kentiçi Toplu Taşıma Araçları için Performansa Dayalı Hakediş Sistemi: İstanbul Örneği Modeli*

Uğur CORA, Recep KIŞLA, Özüm Asya SU

Sayfa: 232 - 241

*Otonom Araçlar İçin Siber Güvenlik Risklerinin Araştırılması ve Savunma Metotları*

Cevat ÖZARPA, İsa AVCI, Seyit Ali KARA

Sayfa: 242 - 255

- Bitlis, Muş ve Van illeri lahanada ekim alanlarındaki zararlı ve faydalı böcek türleri, önemli zararlı ve faydalı türün popülasyon değişiminin belirlenmesi  
Mustafa ÖLMEZ, Erdal SERTKAYA, Musa BUYUK, İsmail ALASERHAT  
Sayfa: 256 - 267
- YouTube'da Diyabetli Hastalar İçin Beslenme Bilgilerinin Kalitesinin ve Güvenilirliğinin Değerlendirilmesi  
Nazlı BATAR, Gizem AŞKIN, Elif Beyza İPEK, Sezen SEVDİN, Rümeyza ÖZÇALKAP  
Sayfa: 268 - 274
- Obezite ve Mikrobiyotik Etkileşimlerine Genel Bakış  
Jale ÇATAK, Esra YILDIRIM, Nureslem MEMİŞ  
Sayfa: 275 - 291
- Mobil Uygulama ile PLC Tabanlı Endüstriyel Donanım Kontrolü  
Alaa HAMAYEL, Sıtkı ÖZTÜRK, Fatma KUNCAN  
Sayfa: 292 - 297
- Uşak İlinde Meydana Gelen Trafik Kazalarının İncelenmesi  
Jülide ÖNER, Halil ERSOYSAL  
Sayfa: 298 - 308
- Sol-Jel Silika Kaplanmış Kumaşların Isıl ve Mekanik Özellikleri  
Abdullah TAV, Yahya ÖZ, Halil İbrahim AKYILDIZ  
Sayfa: 309 - 319
- Hodgkin Lenfoma Olgularında Üç Farklı Radyoterapi Tekniği Kullanılarak Hedef Hacim ve Kritik Organ Dozlarının Retrospektif İncelenmesi  
Hamit BAŞARAN, Gökçen İNAN  
Sayfa: 320 - 325
- Rutenyum Katkılı Nanotüp Kullanılarak Süperkapasitör Elektrot Üretimi  
Murat AKDEMİR  
Sayfa: 326 - 330
- LSTM, Bi-LSTM ve GRU ile Altın Fiyatı Tahmini  
Mustafa YURTSEVER  
Sayfa: 341 - 347
- Sucuk'un Üretiminde Kullanılan Baharatlarda Toksin Üreten ve Antibiyotiğe Dirençli Bacillus cereus'un Araştırılması  
Ece ÇETİN, Görkem YAMAN, Artun YIBAR  
Sayfa: 331 - 340
- Türkiye'de Elektrik Tüketiminde Talep Tahmini: Zaman Serisi Ve Regresyon Analizi İle Karşılaştırma  
Emine Elif NEBATİ, Murat TAŞ, Gamze ERTAŞ  
Sayfa: 348 - 357
- Ateş Tuğlası Parçalarının Güneş Enerjili Hava Isıtıcılarında Isıl Enerji Depolama Malzemesi Olarak Kullanılmasının Isıl Verimliliğine Etkisi  
Ahmet SÜSLÜ, Recep KÜLCÜ, Can ERTEKİN  
Sayfa: 358 - 364
- Anksiyete Bozukluğunda Makine Öğrenmesi Teknikleri  
Elif ALTINTAŞ, Zeynep UYLAŞ AKSU, Zeynep GÜMÜŞ DEMİR  
Sayfa: 365 - 374
- Yapay Sinir Ağları Kullanarak Türkiye Traktör Satış Adedinin Tahmin Edilmesi  
Çağdaş CİVELEK  
Sayfa: 375 - 381
- Kentsel Ulaşım Sınıflamasında Yayalaştırılmış Cadde ve Sokak Uygulamalarının Başarı Değerlendirilmesi: Kırklareli İli Lüleburgaz İlçesi Örneği  
Oğuz ATEŞ, Fürüzan ASLAN, Engin KABATAŞ, Nihar BÜYÜKBAYRAKTAR  
Sayfa: 382 - 389
- Endüstriyel Atık Geri Dönüşümünde Etkili Olan Karar Kriterlerinin BWM ile Değerlendirilmesi: Plastik, Cam ve Çelik Endüstrisinde Uygulama  
Damla ÇEVİK AKA  
Sayfa: 390 - 398

Lineer regresyon ile NLP uygulamasının müşteri kaybı analizine adaptasyonu

Emre S. ÖZMEN

Sayfa: 399 - 408

AMF'nin Kurak Koşullarda Buğdayın Büyümesi ve Fizyolojisine Olumlu Etkisi

İlkay YAVAŞ, Yelda EMEK

Sayfa: 409 - 419

Manda Eti Üretimi ve Kalite Özellikleri

Asiye YILMAZ ADKINSON, Yusuf KONCA

Sayfa: 420 - 428

Tarım Bilimlerinde Paradigma Değişimi: Endüstriyel Tarım ve Küresel Adalet Sorunu

Recep KÜLCÜ

Sayfa: 429 - 433

Birleşen Galaksi Kümesine Optik Bakış: Abell 2254

Ebru AKTEKİN ÇALIŞKAN

Sayfa: 434 - 440

Diyarbakır ilinde Buğdayda Süne [*Eurygaster integriceps* Put. (Hemiptera: Scutelleridae)]'nin

Popülasyon Dinamiği

Çetin MUTLU

Sayfa: 441 - 445

Üniversite Öğrencilerinin Probiyotik Bilgi Düzeyi ve Tüketim Durumlarının Belirlenmesi

Batuhan HORASAN, Özgür SEVINÇ, Nevzat Atalay ÇELİKÜREK

Sayfa: 446 - 453

Aydın, Karpuzlu, Alında Antik Kentinde Tarihi Çevrenin Korunması Çalışmalarında Arkeojeofizik

Çalışmaları

Fethi Ahmet YÜKSEL, Murat ÇEKİLMEZ

Sayfa: 454 - 460

Görüntü Altyazılamada Öznitelik Enjeksiyon Mimarileri için Bir Kıyaslama

Rumeysa KESKİN, Özkan ÇAYLI, Özge Taylan MORAL, Volkan KILIÇ, Aytuğ ONAN

Sayfa: 461 - 468

*Clinopodium dolichodontum* (P.H.Davis) Bräuchler & Heubl 'un In vitro Çimlenmesi ve Fide Gelişimi

Üzerine Araştırmalar

Yelda EMEK

Sayfa: 469 - 474

Kafes Sistemli Yumurta Tavuğu Kümesinde Aydınlatma Yeterliliğinin Standartlara göre

Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi: Bursa Örneği

Büşra YAYLI, İlker KILIÇ

Sayfa: 475 - 480

Bazı Bioadsorbanların Sulu Çözültiden Cr(VI) Adsorpsiyonunda Kullanımının Araştırılması

Hüdaverdi ARSLAN, Nusret ÇALIŞKAN, Melis GÜN

Sayfa: 481 - 486

Plazma Ortamında Aktifleştirilen Bimetalik Nano-katalizör Varlığında Sodyum Borhidrürün

Hidrolizinin İncelenmesi

Tulin AVCI HANSU, Saliha ÖZARSLAN

Sayfa: 487 - 492

Mo-katkılı Mikroalg Kullanılarak Enerji Depolama Amaçlı Süperkapasitör Üretimi

Mustafa KAYA, Fevzi HANSU, Murat AKDEMİR

Sayfa: 493 - 497

Sinan'ın Camilerinde Kubbe Sistemi

Esra ŞAHİN

Sayfa: 498 - 504

Hibe Kapsamında Verilen Tarımsal Projelerin Etkinlik Analizi

Gülay ÖZKAN, İsmail Bülent GÜRBÜZ, Nezhir Erdem BEDEL

Sayfa: 505 - 514

*Sinop'ta Rüzgar Türbinli Su Pompalama Sistemleri*

Bekir YELMEN, Mutlu Tarık ÇAKIR, Cengiz KURT

Sayfa: 515 - 522

*Akdeniz Bölgesinde Thymus eigii (M. Zohary & P.H. Davis) Jalas Bitkisinin Farklı Gelişme Devrelerinde Verimi ile Yaprak ve Çiçeklerdeki Uçucu Yağ Bileşimi*

Muzaffer BARUT, Sezen TANSI, Şengül KARAMAN

Sayfa: 523 - 530

*Kekik ile Doğal Boyama Yapılan Hatay İpeğinin Haslık Sonuçlarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemiyle En Uygun Seçeneğinin Belirlenmesi*

Meral ÖZOMAY

Sayfa: 531 - 538

*Sıvı Kromatografi-Tandem Kütle Spektrometrisi ile Modifiye QuEChERS Yöntemi Kullanılarak Chlorsulfuron ve Pendimethalinin Toprakda Belirlenmesi*

Tarık BALKAN

Sayfa: 539 - 544

*İnşaat Mühendisliği Öğrencilerinin Ana Bilim Dallarındaki Yeterlilikleri Üzerine Bir Araştırma: Mevcut Durum, Sorunlar ve Çözüm Önerileri*

Fatih KARAÇOR, Kaan YÜNKÜL, Ahmet ERDAÇ

Sayfa: 545 - 552

*Polimerik Çekirdek Malzemeler ile Üretilen Havacılık Sandviç Kompozitlerinin ANSYS ile Basma ve Üç Nokta Eğme Analizleri*

Erdem TUNCA, Haşim KAFALI

Sayfa: 553 - 561

*Pütresin'in Tuz Stresi Altında Yetişen Yer Fıstığı (Arachis hypogaea L.)'na Etkisi*

Abdurrahim YILMAZ, Vahdettin ÇİFTÇİ

Sayfa: 562 - 567

*Ekşi karadutun (Morus nigra L.) Türkiye'de yetiştiricilik kültürü ve alanları: Asırlık ağaçların keşfi*

Kahraman GÜRCAN

Sayfa: 568 - 582

*Yapı Malzemelerine Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Bütüncül Bir Bakış: Duvar Malzemelerinin Çevresel Etkilerinin ve Enerji Performansının Belirlenmesi*

Feride Çiğdem KARA, Merve TUNA KAYILI

Sayfa: 583 - 593

*Beton Üretiminde Alternatif Sürdürülebilir Bağlayıcı: Çimento Yerine Kısmi Odun Külü Kullanımı*

Sevket Can BOSTANCI

Sayfa: 594 - 608

*Relief Özellik Seçim Yöntem Tabanlı Önerilen Hibrit Model ile Kalp Hastalığı Teşhisi*

Atınç YILMAZ, Eda SÜMER

Sayfa: 609 - 615

*Farklı Derin Öğrenme Metotları ile Kısa Dönem Elektrik Yükü Tahmin Karşılaştırması*

İpek ATİK

Sayfa: 616 - 623

*Isparta Koşullarında Kavuzsuz Arpa (Hordeum vulgare L. var. nudum) Çeşit/Hatlarının Verim ve Bazı Tarımsal Özelliklerinin Belirlenmesi*

Tuğçe GÜMÜŞ, İlknur AKGÜN

Sayfa: 624 - 628

*Sera Koşullarında Farklı Sulama Suyu Miktarı ve Solucan Gübresi Dozlarının Fesleğen (Ocimum basilicum L.) Bitkisinin Bazı Vejetatif Özelliklerine Etkileri*

Muhtasım TOPRAK, Ulaş ŞENYİÇİT

Sayfa: 629 - 633

*Adıyaman'da Süne (Eurygaster spp. (Heteroptera; Scutelleridae)'nin Ergin Parazitoit Türleri ve Parazitlenme Oranları*

Mahmut İSLAMOĞLU

Sayfa: 634 - 639

- Türkiye ve Avrupa Birliği'nde Ayçiçek Yağının Gıda Güvencesi ve Kendine Yeterlilik Açısından Değerlendirilmesi*  
Bahar AYDIN CAN, Oktay TOMAR, Alptekin Mert YILMAZ  
Sayfa: 640 - 654
- Keçe Sürtünmesinin Şantiye Kamyonlarının Tahrik Akslarının Verimliliği Üzerindeki Etkisi*  
Hasan KASIM, Barış ENGİN, İsmail SARAÇ  
Sayfa: 655 - 660
- Ampirik Kip Ayrıştırma Yöntemi ile Elde Edilen İçsel Kip Fonksiyonlarının Derin Öğrenme Tabanlı Rüzgâr Hızı Tahmin Modeli Başarımına Etkisinin Belirlenmesi*  
Caner BARIŞ, Ahmed Cemil BİLGİN, Aytaç ALTAN  
Sayfa: 661 - 669
- Türkiye'de Yayılış Gösteren Sambucus L. (Adoxaceae) Cinsinin Karşılaştırmalı Anatomisi*  
Ömer ELKIRAN  
Sayfa: 670 - 674
- Marka Farkındalığını Etkileyen Unsurlar*  
Bora GÜNDÜZYELİ  
Sayfa: 675 - 680
- Farklı oranlarda limon suyu ile marine edilmiş sazan etinin (Cyprinus carpio) duyuşal parametrelerinin belirlenmesi*  
Mustafa ÖZ, İlknur BAĞDATLI  
Sayfa: 681 - 685
- Bitkilerin Abiyotik Stres Koşullarıyla Başa Çıkmasına Yardımcı Strigolaktonlar*  
İlkay YAVAŞ, Yelda EMEK  
Sayfa: 686 - 690
- Ticari Uçuşların İniş ve Kalkış Döngüsü Sırasında Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi*  
Mehmet Kadri AKYÜZ  
Sayfa: 691 - 698
- Boeing ve Airbus Uçaklarında Kanat, Gövde ve Kuyruk Tasarım Parametrelerinin İncelenmesi*  
Seyhun DURMUŞ  
Sayfa: 699 - 705
- Bitki Paraziti Nematodlarla Mücadelede Biyoteknolojik Yaklaşımlar*  
Zeliha ŞAHİN, Didem SAGLAM ALTINKOY  
Sayfa: 706 - 712
- Otomobil Seçimi İçin TOPSIS Temelli Bir Karar Verme Yaklaşımı*  
Sezin GÜLERYÜZ ERGÜL, Aysel ÇOKYAŞAR  
Sayfa: 713 - 724
- Saldırı Tespit Sistemlerinde Topluluk Öğrenme Yöntemlerinin Kıyaslanması*  
İlya KUŞ, Sinem BOZKURT KESER, Esra YOLAÇAN  
Sayfa: 725 - 734
- Kültürel Miras Değerlerinin Bölgesel Kalkınmadaki Yeri (Karaman-Taşkale Ören Yeri Örneği)*  
Seda DİLAY  
Sayfa: 735 - 745
- Nesnelere İnterneti Teknolojisinin Lojistik Faaliyetlerindeki Uygulama Alanları ve Verimliliğe Etkileri*  
Ümit YILMAZ, Özlem KUVAT  
Sayfa: 746 - 754
- Altyapı Sorunlarına Yenilikçi Çözüm Önerilerinin Getirilmesi*  
Muhammed Ernur AKINER, İlknur AKINER  
Sayfa: 755 - 763
- Derin Öğrenme ile Yüz Tanıma ve Duygu Analizi*  
Yaşar SAFALI, Erdinç AVAROÇLU  
Sayfa: 764 - 770

*İnce Taneli Zeminlerin Kimyasal ve Fiziksel Özelliklerine Atık Suyun Etkileri*

Nurdan BAYKUŞ, Mehmet KARPUZCU

Sayfa: 771 - 775

*Sentinel-2 Görüntüleri Kullanılarak Alanya, Türkiye' deki Örtüaltı Alanlarının Kısa Dönem Değişiminin Belirlenmesi ve Markov Zinciri Tahminlemesi*

Melis İNALPULAT, Levent GENÇ

Sayfa: 776 - 782

*Halkla İlişkiler Ajansları için Bulut Tabanlı Güvenli Çok Taraflı Hesaplama ve İşbirliği Servisi - SMPCCaaS*

Şaha BAYGÜL ÖZPINAR, Alper ÖZPINAR

Sayfa: 783 - 790

*İnsansız Su Altı Araçlarında Kullanılan İtici Motorların İtici Kuvveti Hesaplanmasında Uygulanan Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması*

Talha GÜLGÜN, İsmail YALÇINKAYA, Mertcan ERDOĞDU, Akif DURDU

Sayfa: 791 - 795

*Ağır Vasıta Hava Kompresörü Arıza Durumlarının Naive Bayes Sınıflandırıcısı Kullanılarak Analizi*

Emre GÜL, Mete KALYONCU

Sayfa: 796 - 800

*Enjeksiyon Edilmiş Plastiğin Soğutulması İşleminin Optimizasyon Çalışması*

Burak TÜRKAN

Sayfa: 801 - 808

*Kimyasal Gübrelerle Birlikte Uygulanan Vermikompost Kaynaklı Hümik Maddelerin Biberin Kısa Dönem Gelişimi ve Mineral Beslenmesine Etkisi*

Cennet YAYLACI, İbrahim ERDAL

Sayfa: 809 - 814

*Covid-19 Salgınının BIST-100 Endeksi Üzerindeki Etkisi: Türkiye Özelinde Ampirik Bir Araştırma*

Mustafa KARTAL

Sayfa: 815 - 822

*Fuzzy Fonksiyon Dönüşüm Dizilerinin  $\mu$ . Dereceden Kuvvetli p-Lacunary İstatistiksel Yakınsaklığı*

Abdulkadir KARAKAŞ, Hakkan GÜLOĞLU

Sayfa: 823 - 830

*Hibiskus (Hibiscus sabdariffa L.) Ekstraktı Tozu ile Soğuk Çay Üretimi: Antioksidan Aktivite ve Duyusal Özellikler*

Abdullah NAJİ, Serap BERKTAŞ, Mustafa ÇAM

Sayfa: 831 - 836

*Kriz Alanlarında Sığınakları Değerlendirmek için CBS'ye Dayalı Bir Risk Değerlendirme Yaklaşımı: İdlil/Suriye'de Uygulama*

Jamil HALLAK, Melik KOYUNCU, Pınar MİÇ

Sayfa: 837 - 851

*Drain Mast Komponentinin Tahribatsız Muayene Yöntemleri Kullanılarak Test Edilmesi*

Berces KURT, Cevahir TARHAN

Sayfa: 852 - 860

*Model Tabanlı Tasarım Araçları ile Robot Programlama*

Mustafa ENGİN, Okan DUYMAZLAR, Dilşad ENGİN

Sayfa: 861 - 869

*İnsansız Su Altı Aracındaki İtici Motorda Kullanılması Planlanan Bir Pervanenin Serbest Titreşim Karakteristiğinin İncelenmesi*

Talha GÜLGÜN, İsmail YALÇINKAYA, Mertcan ERDOĞDU, Akif DURDU

Sayfa: 870 - 873

*Genişletilmiş Kapı Alan Etkili Transistör Tabanlı Mikrosensör ile pH ve Üre Tespiti*

İpek AVCI, Merve OĞUZ, Mustafa ŞEN

Sayfa: 874 - 880

*DA-DA Düşürücü Dönüştürücünün Sistem Tanımlaması ve Kontrolü*

Davut SEVİM, Nurullah BOZKURT

Sayfa: 881 - 889

Çok Kameralı Görü Tabanlı Mobil Robot Kontrolü ve Yol Planlaması

Emrah DÖNMEZ, Alper ÖZCAN

Sayfa: 890 - 905

Kentsel Planlamanın Yaban Hayatı ile İlişkilendirilmesi ve Değerlendirilmesi

Leyla SURİ, İdris OĞURLU

Sayfa: 906 - 915

Determination of the Volatile Compounds of *Chimonanthus Praecox* (Wintersweet) Used as an Ornamental Plant in the Parks of Burdur (Göhlisar)

Sevgin ÖZDERİN, Ebru Hatice TIĞLI KAYTANLIOĞLU, Hüseyin FAKİR

Sayfa: 916 - 920

Lider Takip Metodu ve Kübik Polinom Yol Planlama Algoritmasının Formasyon Kontrollü Çoklu Robot Sistemlerinde Uygulanması

Nuri Efe TATLI, Pınar OĞUZ EKİM, Dilara FİDAN, Beyzanur KALAYCI, Cem ÇEBER

Sayfa: 921 - 927

Sertifikalı Standart Kaynak Kullanılarak Alfa Spektrometre Sisteminin Karakterizasyonu

Nurgül HAFIZOĞLU

Sayfa: 928 - 932

Kompozit Yüzey Plakalı ve Alüminyum Çekirdekli Sandviç Levhaların Balistik Performanslarının Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi ile İncelenmesi

Murat YAZICI, Yalçın BOZTOPRAK, Saime UYGUN

Sayfa: 933 - 942

10-12 Yaş Okul Çocuklarında Beslenme ve Fiziksel Aktivitenin Vücut Kompozisyonu ve Uyku Kalitesine Etkisi

Latifa AZİMOVA, Ecenur ÖZKUL, Can ERGÜN

Sayfa: 943 - 950

Pandemi Koşullarında Otel Seçimiyle İlgili TOPSIS Tabanlı Bir Karar Verme Yaklaşımı

Sezin GÜLERYÜZ ERGÜL, Abdullah ULUÇAY, İrfan Mert YAVUZ

Sayfa: 951 - 956

Fen Bilgisi Öğretmen Adaylarının Statik Elektrik Konusu İle İlgili Karşılaştıkları Kavramsal Zorluklar

Said DOĞRU

Sayfa: 957 - 967

İstanbul Lastik Tekerlekli Toplu Ulaşım Sistemlerindeki Özel Halk Otobüsleri için Elektrikli Otobüs Konsepti

Orhan TOPAL

Sayfa: 968 - 973

Moleküler kenetlenme ve farmakolojik analiz ile SARS-CoV-2 için potansiyel inhibitörler olarak bazı flavanonların değerlendirilmesi

Fatma Nur ÖZKÖMEÇ, Mustafa ÇEŞME

Sayfa: 974 - 981

Ortalama Saldırı Yöntemiyle Elektronik Bankacılık (e-Bankacılık) Dolandırıcılığı

İlker KARA

Sayfa: 982 - 985

Remote Monitoring of Wind Speed and Produced Voltage Measured by Anemometer

Çağatay ERSİN, Ali ÖZ

Sayfa: 986 - 990

N-Gram Yaklaşımı Kullanılarak Fatura Görüntülerinden Bilgi Çıkarımında Farklı Sınıflandırma Algoritmalarının Karşılaştırılması

Resmiye NASİBOĞLU, Adem AKDOĞAN

Sayfa: 991 - 1003





# A New Depth Classification Method based on Underwater Acoustics for Naval Defense Applications

Orhan Yaman<sup>1</sup>, Emrah Aydemir<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Firat University, Faculty of Technology, Department of Digital Forensics Engineering, Elazig, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9623-2284), [orhanyaman@firat.edu.tr](mailto:orhanyaman@firat.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Sakarya University, Faculty of Business, Department of Management Information Systems, Sakarya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8380-7891), [emrahaydemir@sakarya.edu.tr](mailto:emrahaydemir@sakarya.edu.tr)

(First received 27 September 2021 and in final form 3 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1001051)

**ATIF/REFERENCE:** Yaman, O. & Aydemir, E. (2021). A New Depth Classification Method based on Underwater Acoustics for Naval Defense Applications. *European Journal of Science and Technology*, (31), 1-7.

## Abstract

The main purpose of this research is to present an automatic underwater acoustic classification model with high performance. Thus, a new sound dataset was collected. By using this dataset, a new underwater depth classification method is proposed in this work. Average pooling has been used to pre-processing underwater sounds. The used average pooling model is both removed the noises and compressed signal. S-transform and AlexNet have been used for feature extraction. By deploying S-transform to underwater sounds, contour images have been obtained. These images have been utilized input of the AlexNet. Herein, AlexNet has been utilized to extract features by using transfer learning. Features extracted have been classified with the Support Vector Machine (SVM). In our method, 99.05% accuracy has been calculated. The calculated results and findings illustrate the success of our proposed S-transform and AlexNet based model on the underwater sound classification.

**Keywords:** Underwater sound classification; S-transform; Deep Learning; AlexNet; SVM.

## Deniz Savunma Uygulamaları için Sualtı Akustiğine Dayalı Yeni Bir Derinlik Sınıflandırma Yöntemi

### Öz

Bu araştırmanın temel amacı, yüksek performanslı otomatik bir sualtı akustik sınıflandırma modeli sunmaktır. Böylece yeni bir ses veri seti toplanmıştır. Bu veri seti kullanılarak, bu çalışmada yeni bir sualtı derinlik sınıflandırma yöntemi önerilmiştir. Sualtı seslerinin ön işleme için ortalama havuzlama kullanılmıştır. Kullanılan ortalama havuzlama modeli hem gürültüleri hem de sıkıştırılmış sinyali ortadan kaldırmıştır. Özellik çıkarımı için S-dönüşüm ve AlexNet kullanılmıştır. S-dönüşümünün su altı seslerine yerleştirilmesiyle kontur görüntüleri elde edilmiştir. Bu görüntüler AlexNet'in girdisi olarak kullanılmıştır. Burada, transfer öğrenme kullanılarak öznelikleri çıkarmak için AlexNet kullanılmıştır. Çıkarılan özellikler Destek Vektör Makinesi (SVM) ile sınıflandırılmıştır. Bizim yöntemimizde %99,05 doğruluk hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar ve bulgular, su altı ses sınıflandırmasında önerilen S-dönüşüm ve AlexNet tabanlı modelimizin başarısını açıkça göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sualtı ses sınıflandırması; S-dönüşümü; Derin Öğrenme; AlexNet; SVM.

\* Corresponding Author: [emrahaydemir@sakarya.edu.tr](mailto:emrahaydemir@sakarya.edu.tr)

## 1. Introduction

Underwater systems are important for naval defense applications. Sound-based applications have been developed for underwater monitoring and object detection. Underwater sounds can be used for both civil and military applications. Submarine vehicles can be detected by using underwater sounds in military applications. Moreover, applications are being developed for depth and direction detection with underwater sounds. In the literature, object detection is made using underwater radar and images (Fan et al., 2018; Neves et al., 2020; Song et al., 2018). However, there are few studies for underwater sound systems.

Firat et al. (Firat et al., 2017), detected ship noise caused by propellers and machinery. They collected underwater sounds using different marine vehicles such as cruise boats, cargo ships, and passenger boats. They applied Demon and Lofar methods to underwater sounds. Liu et al. method (Liu et al., 2021), used the Convolutional Neural Network (CNN) and determined the direction of the target underwater. According to Jiang et al. (Jiang, Wu, et al., 2020), proposed a sound-based method for underwater target recognition. Sound signals obtained underwater are noisy. They used signal preprocessing to reduce these noises. They obtained the spectrogram of the preprocessed sound signals. The results were computed using CNN and machine learning using spectrograms.

Dong et al. (Dong et al., 2021) provide an efficient method for the recognition of unstable underwater acoustic datasets. They proposed a convolutional neural network and an entropy-based method. The proposed approach was applied on unstable underwater acoustic datasets of targets and communication signals. Time-frequency conversions of unbalanced acoustic signals were obtained. Time-frequency transformations were converted to images and given as an input to the CNN model. The used proposed method, 90% accuracy was calculated. Jiang et al. (Jiang, Shi, et al., 2020) proposed a multi-scale spectral method for noise removal and target recognition in underwater acoustic signals. In this study, the noises in the Acoustic data set were removed and the target was determined by machine learning. They calculated about 90% accuracy in the proposed method. Hu et al. (Hu et al., 2018) proposed an extreme learning machine (ELM) and CNN-based method for underwater noise removal. Feature extraction was performed from underwater acoustic signals using the CNN model. Extracted features were classified using ELM. They calculated a 93.04% recognition rate in the experiments performed on the dataset of civilian ships. Wang et al. (Wang et al., 2019) developed multidimensional fusion features and modified deep neural network (MFF-MDNN) based method to recognize underwater acoustic targets. Underwater acoustic feature extraction was performed using gammatone frequency cepstral coefficient (GFCC) and modified empirical mode decomposition (MEMD) methods. The proposed method calculated 94.3% accuracy with 800 iterations. Yaman et al. (Yaman, Tuncer, et al., 2021) identified propeller types using underwater acoustic sounds. They collected an underwater acoustic dataset. They developed a DES pattern algorithm to extract features from these sound signals. Decision Tree, k Nearest Neighbor (KNN), and Support Vector Machine (SVM) algorithms were used to classify the obtained features. They calculated 99.8% accuracy using the SVM algorithm.

Our motivation in this study is to collect a new dataset and propose a new hybrid method for underwater depth detection.  
e-ISSN: 2148-2683

Sounds have been collected at depths of 5, 10, 15, 20, 25, and 30 meters underwater. This sound data has been recorded with 44,100 kHz. Average pooling has been applied in the signal-preprocessing step. The data collected 44100 times in 1 second has been reduced to 441 sizes. In the literature, 44,100 kHz sound signals are divided into 1-second samples for feature extraction (Altınors et al., 2021). For this reason, underwater sound signals collected in this study have been used by dividing into 1-second samples. The feature has been extracted with  $1 \times 441$  signal S-transform and these features have been recorded as figures. S-transform images have been used with AlexNet and  $1 \times 1000$  features have been extracted. Extracted features have been classified by SVM. In the proposed method, a hybrid model is developed using both S-transform + AlexNet and SVM. In this study, a contribution to the literature has been made with the proposed method and underwater dataset.

## 2. Materials

In this study, an underwater depth dataset has been collected using a sound/video recorder. Features of the used sound/video recorder; QuickTime Video File (MOV), the bit rate is 1411 kbps, channels 2 (stereo), the Sample rate is 44.100 kHz. We collected the underwater sound dataset near the Keban dam / Turkey. The experimental setup developed to collect the underwater depth dataset can be seen in Figure 1.

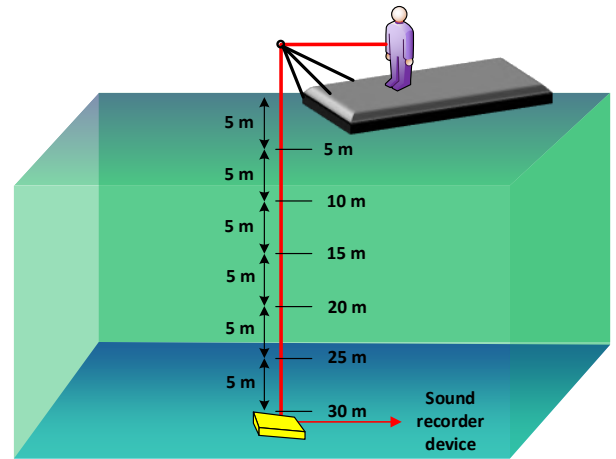


Fig. 1. Experimental setup developed for the collection of underwater depth dataset

As can be seen in Figure 1, the sound recorder has been used between five and thirty meters. The sound recorder has been fixed under the water at six points. Five minutes of sounds have been collected for each point. The features of the underwater depth dataset collected are shown in Table 1.

Table 1. Class information of the collected underwater direction dataset

Class number	Class definition	Time (min)	Number of Samples
Class 1	Five meters	5	300
Class 2	Ten meters	5	300
Class 3	Fifteen meters	5	300
Class 4	Twenty meters	5	300
Class 5	Twenty-five meters	5	300
Class 6	Thirty meters	5	300

In the depth dataset, we obtained 300×44100 data by taking 300 seconds of sound for each class. In this case, 1800×44100 data has been collected for six classes in the depth dataset. In this study, sample sound signals from microphones for the depth dataset are drawn in Figure 2.

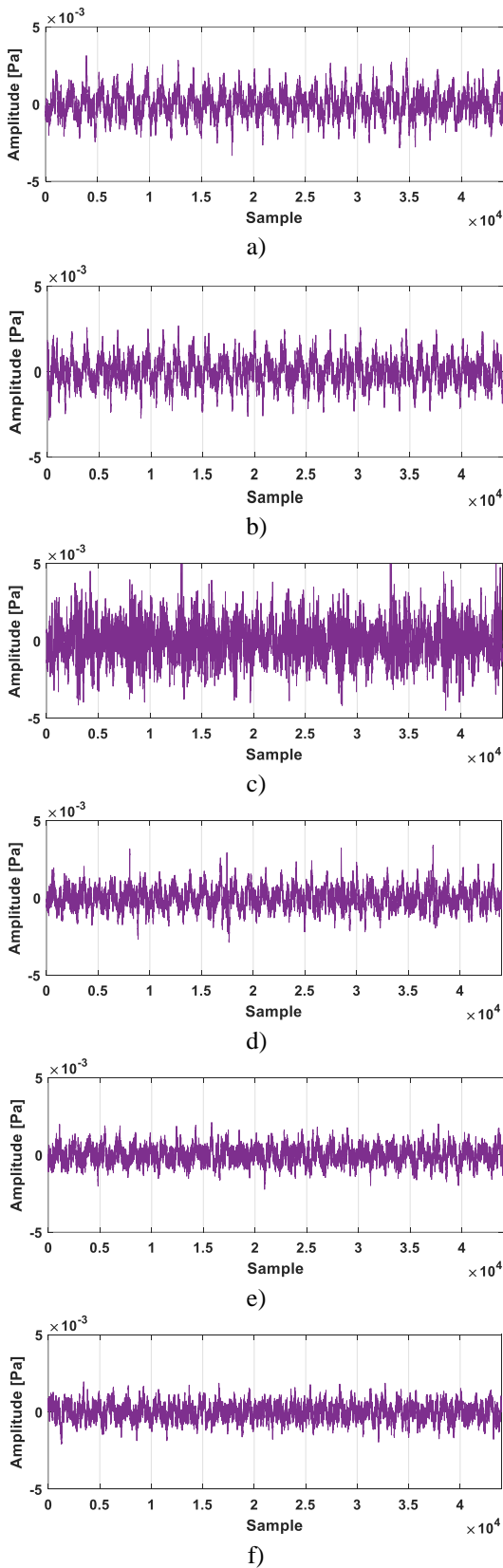


Fig. 2. Sound samples collected for direction determination a) Class 1 b) Class 2 c) Class 3 d) Class 4 e) Class 5 f) Class 6

### 3. Proposed Method

In this study, a new method for underwater depth classification is proposed. The block diagram of the proposed method is summarized in Figure 3.

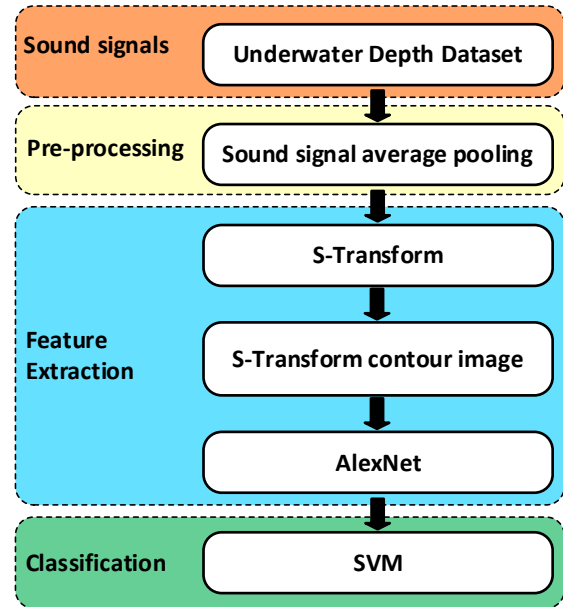


Fig. 3. Block diagram of the proposed underwater depth classification method

In the first step of the proposed method, we have preprocessed the underwater depth dataset. In the preprocessing step, average pooling has been applied to the signal. 1×44100 samples have been collected in 1 second. This example transforms into 1×441 after the average pooling step. The average pooling result of the sample signal drawn in Figure 2.a) can be seen in Figure 4.

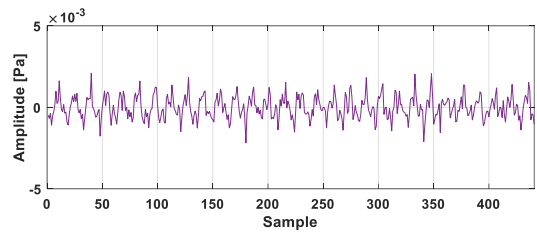


Fig. 4. Average pooling result of a sample signal (Fig.2.a)

By using averaging pooling, noise in the signal is reduced. This process has been repeated for a total of 1800 samples, which have six classes. 1800×44100 data is reduced to 1800×441 size. Because the size of the sound signals is decreased, the feature extraction time is lowered. Short-term Fourier and Gabor transform is used in fixed-width windows (Das et al., 2013; Gowtham et al., 2019). These transformation methods are insufficient in the analysis of non-stationary signals. In addition, wavelet transforms do not achieve high success in noisy signals. S-transform has been developed to solve these problems (Stockwell, 2007). The S-transform consists of a short-time Fourier transform and a continuous wavelet transform. Unlike wavelet transform, S-transform gives frequency-dependent time-frequency information. The obtained time-frequency information represents the instantaneous phase information. This phase information corresponds to the phase

obtained by the Fourier transform. The S-transform is given in equation 1 (Stockwell, 1996).

$$ST(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} \beta(t) \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{f^2(\tau-t)^2}{2}\right]} e^{-i2\pi ft} dt \quad (1)$$

In Equation 1, the parameter  $\tau$  represents the time axis, and the parameter  $f$  represents the frequency axis. The parameter  $\beta(t)$  represents the input function, and  $\frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{f^2(\tau-t)^2}{2}\right]}$  represents the Gaussian window. In Figure 2, average pooling and S-transform have been applied to the sample signals. The images obtained after S-transform can be seen in Figure 5.

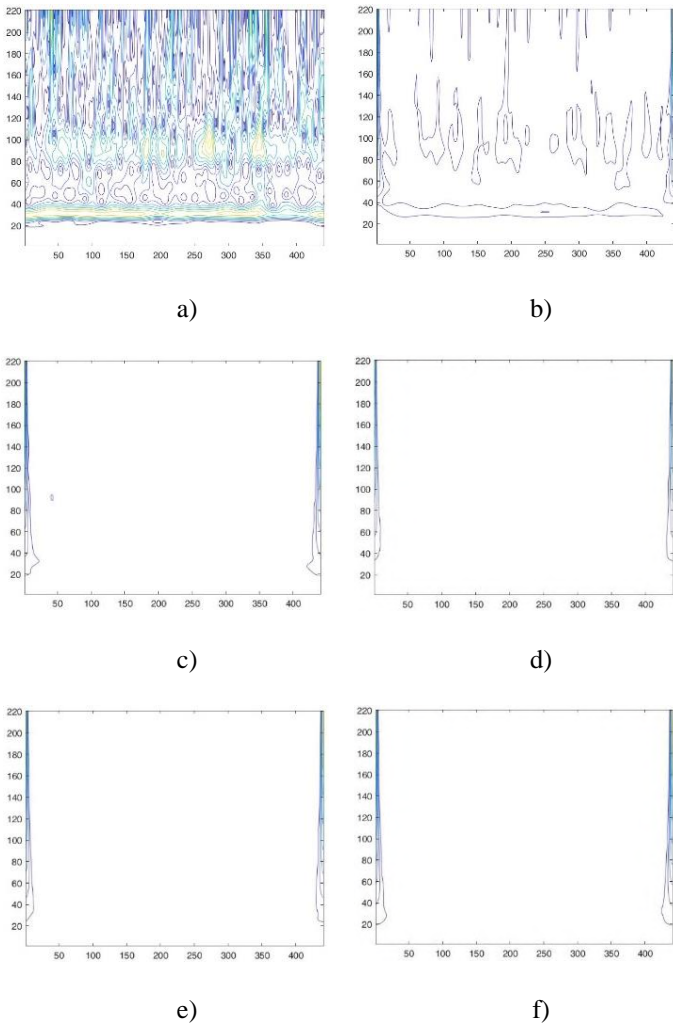


Fig. 5. S-transform conversion of underwater depth sounds a) Class 1 b) Class 2 c) Class 3 d) Class 4 e) Class 5 f) Class 6 (see Fig.2)

As can be seen in Figure 5, S-transform contour images have been obtained from the sample signals. This process has been repeated for six classes. As a result of the S-transform, 1800 images have been obtained. Feature extraction has been performed from these images with pre-trained deep learning models. The operation time and accuracy of the models have been examined to select the best performing deep learning model. Feature extraction has been performed using S-transform images with AlexNet, DarkNet19, DarkNet53, DenseNet201, GoogleNet, InceptionResNetV2, InceptionV3, MobileNetV2,

NasNetLarge, NasNetMobile, ResNet18, ResNet50, ResNet101, ShuffleNet, Vgg16, Vgg19 and XceptionNet deep models. These models are pre-trained models and transfer learning has been applied by using these deep networks. The pre-trained networks were trained on the ImageNet dataset. The performance results calculated for these pre-trained deep learning models can be seen in Figure 6.

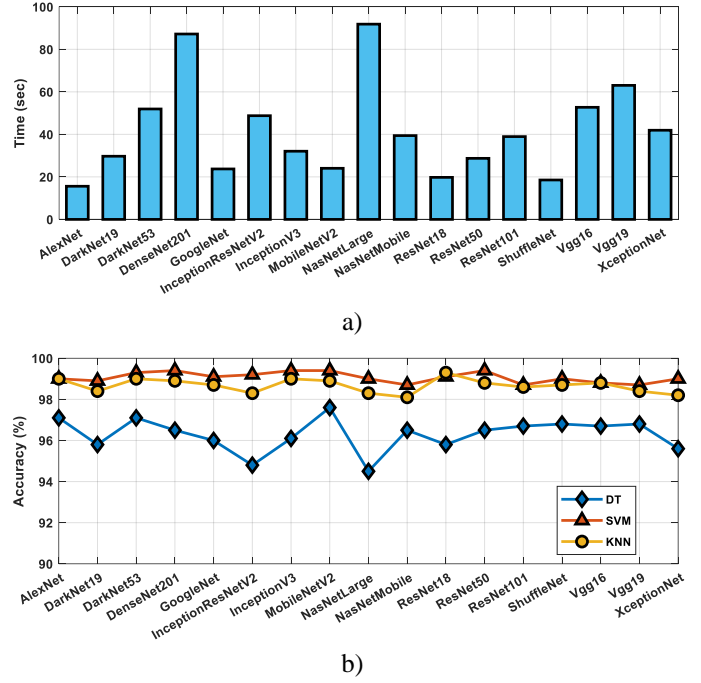


Fig.6. Performance results of pre-trained deep learning models a) Operation time of models b) Classification results of models

In Figure 6.a), the feature extraction times of the pre-trained deep learning models have been computed. The feature extraction time from 1800 images ranges from 15.59 seconds to 91.55 seconds. The fastest feature extraction for the underwater depth dataset used in this study has been calculated with AlexNet. Thus, we have used AlexNet as a feature extractor. In addition, extracted features are classified by Decision Tree(DT)(Bedi et al., 2021), Support Vector Machine (SVM)(Bayğm et al., 2021), and K-Nearest Neighbors (KNN)(Aydemir et al., 2020) algorithms. AlexNet is preferred for feature extraction because of its performance in both operation time and accuracy (Haryanto et al., 2020).

AlexNet consists of eight layers (Krizhevsky et al., 2012) and architecture has significantly increased the ImageNet classification accuracy. AlexNet contains five convolutional layers and three fully connected layers.

In this study, the pre-trained AlexNet model has been used and 1800x1000 features have been extracted for 1800 images. Obtained features have been classified by the Cubic SVM algorithm. Before choosing the Cubic SVM algorithm, the performances of twelve classifiers were tested. These used classifiers in tests; are Fine DT, Medium DT, Coarse DT, Linear Discriminant, Gaussian Naïve Bayes, Linear SVM, Quadratic SVM, Cubic SVM, Fine KNN, Medium KNN, Cosine KNN, and Ensemble Boosted Trees. The calculated accuracies for these classifiers have been demonstrated in Figure 7.



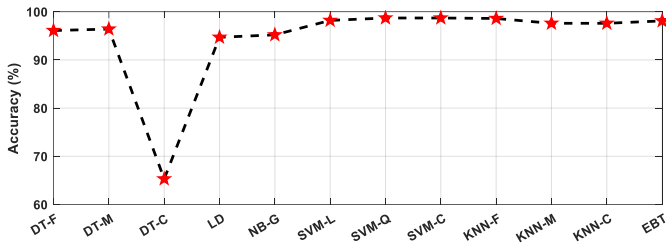


Fig. 7. The accuracy results computed for Fine DT (DT-F), Medium DT (DT-M), Coarse DT (DT-C), Linear Discriminant (LD), Gaussian Naïve Bayes (NB-G), Linear SVM (SVM-L), Quadratic SVM (SVM-Q), Cubic SVM (SVM-C), Fine KNN (KNN-F), Medium KNN (KNN-M), Cosine KNN (KNN-C), and Ensemble Boosted Trees (EBT)

As can be seen in Figure 7, the highest accuracy has been calculated with Cubic SVM. Therefore, extracted features are classified with Cubic SVM. The parameters of the Cubic SVM algorithm used in the proposed method are tabulated in Table 2.

Table 2. Parameters of SVM algorithms used in the proposed method

Parameters	Cubic SVM
Kernel function	Cubic
Box constraint level	1
Kernel scale mode	Auto
Kernel scale	1
Multiclass method	One-vs-one

### 4. Experimental Results

In this study, the proposed method has been applied on a computer with i7-9700 CPU 3.00 GHz, 32GB RAM, and 64-bit Windows 10 operating system. In the proposed method, preprocessing and feature extraction steps are developed in the MATLAB 2020a program with m-file. The classification process has been calculated using the MATLAB Classification Learner Toolbox. The confusion matrix has been computed using 10-fold cross-validation. Confusion matrix calculated with 10-fold cross-validation can be seen in Figure 8.

		Predicted Class					
		1	2	3	4	5	6
True Class	1	298	1	0	0	0	1
	2	0	299	1	0	0	0
	3	0	0	296	0	2	2
	4	0	0	1	299	0	0
	5	0	0	2	0	298	0
	6	0	0	7	0	0	293

Fig. 8. Confusion Matrix obtained for Cubic SVM

In the proposed method, 1000 iterations have been run to get results with the Cubic SVM classification method. Accuracy, Precision, Recall, Geometric mean, and F1-score results computed for Cubic SVM are presented in Table 3.

Table 3. Accuracy, precision, recall, geometric mean, and F1-score (%) results of the used underwater depth acoustic classifiers.

Classifiers	Statistics	Accuracy	Precision	Recall	Geometric mean	F1-score
Cubic SVM	Maximum	99.05	99.06	99.05	99.05	99.06
	Minimum	98.16	98.67	98.66	98.65	98.67
	Mean	98.63	99.01	98.99	98.99	99.0
	Standard deviation	0.12	0.07	0.07	0.07	0.07

Maximum accuracy, precision, recall, geometric mean, and F1-Score have been calculated as 99.05%, 99.06%, 99.05%, 99.05%, and 99.06%, respectively, with 1000 iterations of the Cubic SVM algorithm. In this study, 10-fold cross-validation has been used to calculate the classification results. In the proposed method, Fold-wise results for Cubic SVM have been computed and shown in Figure 9.

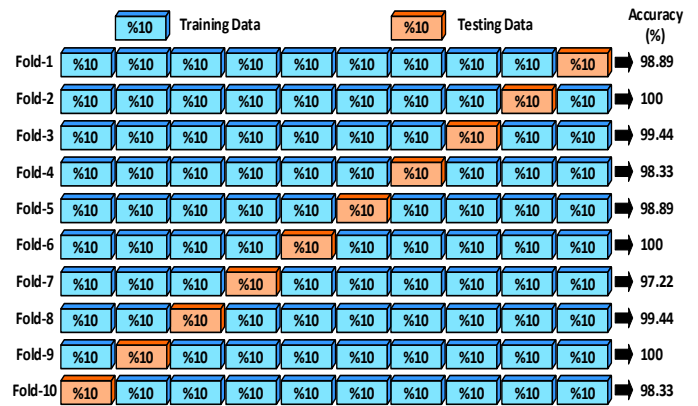


Fig. 9. The plot of best accuracy (%) obtained for different folds using underwater depth dataset

As seen in Figure 9, the results of Fold-1, Fold-2, Fold-3... Fold-10 have been calculated for the Cubic SVM classification algorithm. The highest results have been seen in Fold-2, Fold-6, Fold-9 and the lowest result have been seen in Fold-7. Our method Class by Class results are shown in Figure 10.

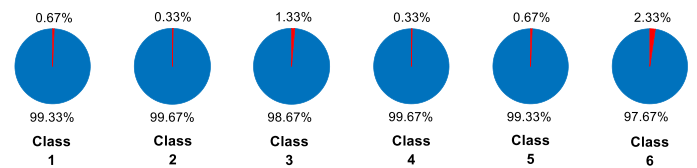


Fig. 10. Classification accuracies (%) obtained for various classes using our proposed method with an underwater depth dataset

As seen in Figure 10, the best results have been obtained in Class 2 and Class 4, while the lowest results have been illustrated in Class 6. Class by Class results support the accuracy of the confusion matrix obtained in the study.

### 5. Conclusion and Discussions

Underwater acoustic systems are widely used in both civil and military applications. Vehicles such as ships, boats, and submarines can be detected using underwater sounds. In addition, the underwater depths of these vehicles can be known. In this study, depth classification has been made using

underwater sounds. A microphone has been used underwater and sounds have been collected for five minutes from six different depths. Preprocessing has been done with average pooling in the underwater depth dataset. S-transform and AlexNet have been used for feature extraction. The Cubic SVM algorithm has

classified extracted features. 99.05% accuracy has been calculated with the proposed method for six classes. There are very few studies on underwater sound classification in the literature. The related state-of-art studies to our model are listed in Table 4.

Table 4. Comparison of the results of the proposed method with the literature

Studies	Year	Dataset	Explanation	Method	Results
Liu et al. method (Liu et al., 2021)	2021	DOA acoustic dataset 181000	The direction of arrival estimation	CNN, TensorFlow,	Accuracy = 98.32%
				MUSIC algorithm	Accuracy = 98.32%
Yaman et al. (Yaman & Tuncer, 2021)	2021	Underwater acoustic data	Underwater direction classification	NasNet + SVM	Accuracy = 77.66%, Precision = 77.85%, Recall = 77.66%, Geo. mean = 76.71%, F1-Score = 77.76%
Reis et al. (Reis et al., 2019)	2019	Underwater acoustic data	Acoustic signature and boat detection	Frequency amplitude variation	Accuracy = 93.19%
Fischell et al. (Fischell et al., 2018)	2018	Underwater acoustic data	Behavior mode classification	KNN	Accuracy = 99%
Dominguez et al. (Santos-Domínguez et al., 2016)	2016	ShipsEar database	Underwater vessel noise classification	Gaussian mixture models	Accuracy = 75.4%
Sierra et al. (Sierra et al., 2015)	2015	Underwater acoustic data	Classification of Small Boats	Fuzzy	Accuracy = 93.33%
Our Method		Underwater acoustic data	Underwater depth classification	S-transform + AlexNet + SVM	Accuracy = <b>99.05%</b> , Precision = <b>99.06%</b> , Recall = <b>99.05%</b> , Geo. mean = <b>99.05%</b> , F1-Score = <b>99.06%</b>

The proposed method has been compared with the literature, and the proposed method has higher accuracy. According to Yaman et al. (Yaman & Tuncer, 2021) determined the direction of vehicles moving underwater with underwater sound data in their study. They used NasNet deep learning model and SVM in their study, and 77.66% accuracy was calculated. Fischell et al. (Fischell et al., 2018) proposed a KNN-based method to determine the underwater position of underwater vehicles. Their method calculated 99% accuracy. On the other hand, Sierra et al. (Sierra et al., 2015) proposed a fuzzy-based method for detecting speedboats, and 93.33% accuracy was calculated.

## 6. Future Works

Studies are carried out in both civil and military fields by using underwater acoustic signals. Due to underwater acoustic signals, there are many studies such as underwater target detection, detection of leaks in pipelines, and object detection. In this study, depth detection has been performed using underwater sound signals. In future studies, it is aimed to collect acoustic datasets in deeper regions. In addition, underwater target detection methods will be developed with the developed methods. Methods will be developed to detect the location of the target by collecting underwater sound signals from many areas.

## 7. Acknowledgment

This work is supported by Firat University Research Fund, Turkey Project Number: MMY.20.01

## References

- Altınors, A., Yol, F., & Yaman, O. (2021). A sound based method for fault detection with statistical feature extraction in UAV motors. *Applied Acoustics*, 183, 108325. doi: 10.1016/j.apacoust.2021.108325
- Aydemir, E., Tuncer, T., & Dogan, S. (2020). A Tunable-Q wavelet transform and quadruple symmetric pattern based EEG signal classification method. *Medical Hypotheses*, 134(December 2019), 109519. doi: 10.1016/j.mehy.2019.109519
- Baygın, M., Yaman, O., & Tuncer, T. (2021). Akıllı Şehirler için Özellik Çıkarımı ve Makine Öğrenmesi Tabanlı Asfalt Durum İzleme Yaklaşımı. *European Journal of Science and Technology*, 23, 81–88. doi: 10.31590/ejosat.844592
- Bedi, P., Mewada, S., Vatti, R. A., Singh, C., Dhindsa, K. S., Ponnusamy, M., & Sikarwar, R. (2021). Detection of attacks in IoT sensors networks using machine learning algorithm.

- Microprocessors and Microsystems*, 82(December 2020), 103814. doi: 10.1016/j.micpro.2020.103814
- Das, M. K., & Ari, S. (2013). Analysis of ECG signal denoising method based on S-transform. *Irbm*, 34(6), 362–370. doi: 10.1016/j.irbm.2013.07.012
- Dong, Y., Shen, X., Jiang, Z., & Wang, H. (2021). Recognition of imbalanced underwater acoustic datasets with exponentially weighted cross-entropy loss. *Applied Acoustics*, 174, 107740. doi: 10.1016/j.apacoust.2020.107740
- Fan, X., Wu, J., Shi, P., Zhang, X., & Xie, Y. (2018). A novel automatic dam crack detection algorithm based on local-global clustering. *Multimedia Tools and Applications*, 77(20), 26581–26599. doi: 10.1007/s11042-018-5880-1
- Fischell, E. M., Viquez, O., & Schmidt, H. (2018). Passive acoustic tracking for behavior mode classification between surface and underwater vehicles. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2383–2388. doi: 10.1109/IROS.2018.8593981
- Firat, U., & Akgül, T. (2017). Gemi Akustik İz Analizi. *EMO Bilimsel Dergi*, 7(13), 25–31.
- Gowtham, S., Keerthana, I., & Balaji, M. (2019). Characterization and Classification of Hall Sensor Faults using S-Transform Analysis on BLDC Motor Drive. *2019 IEEE 1st International Conference on Energy, Systems and Information Processing, ICESIP 2019*. doi: 10.1109/ICESIP46348.2019.8938284
- Haryanto, T., Sitanggang, I. S., Agmaloro, M. A., & Rulaningtyas, R. (2020). The Utilization of Padding Scheme on Convolutional Neural Network for Cervical Cell Images Classification. *CENIM 2020 - Proceeding: International Conference on Computer Engineering, Network, and Intelligent Multimedia 2020*, 34–38. doi: 10.1109/CENIM51130.2020.9297895
- Hu, G., Wang, K., Peng, Y., Qiu, M., Shi, J., & Liu, L. (2018). Deep Learning Methods for Underwater Target Feature Extraction and Recognition. *Computational Intelligence and Neuroscience, 2018*. doi: 10.1155/2018/1214301
- Jiang, J., Shi, T., Huang, M., & Xiao, Z. (2020). Multi-scale spectral feature extraction for underwater acoustic target recognition. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 166, 108227. doi: 10.1016/j.measurement.2020.108227
- Jiang, J., Wu, Z., Lu, J., Huang, M., & Xiao, Z. (2020). Interpretable features for underwater acoustic target recognition. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 108586. doi: 10.1016/j.measurement.2020.108586
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 25, 1097–1105. doi: 10.1201/9781420010749
- Liu, Y., Chen, H., & Wang, B. (2021). DOA estimation based on CNN for underwater acoustic array. *Applied Acoustics*, 172, 107594. doi: 10.1016/j.apacoust.2020.107594
- Neves, G., Ruiz, M., Fontinele, J., & Oliveira, L. (2020). Rotated object detection with forward-looking sonar in underwater applications. *Expert Systems with Applications*, 140, 112870. doi: 10.1016/j.eswa.2019.112870
- Reis, C. D. G., Padovese, L. R., & de Oliveira, M. C. F. (2019). Automatic detection of vessel signatures in audio recordings with spectral amplitude variation signature. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(9), 1501–1516. doi: 10.1111/2041-210X.13245
- Santos-Domínguez, D., Torres-Guijarro, S., Cardenal-López, A., & Pena-Gimenez, A. (2016). ShipsEar: An underwater vessel noise database. *Applied Acoustics*, 113, 64–69. doi: 10.1016/j.apacoust.2016.06.008
- Sierra, E., & Contreras, J. (2015). Classification of small boats using fuzzy classifier. *Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society - NAFIPS, 2015-Septe*, 0–4. doi: 10.1109/NAFIPS-WConSC.2015.7284174
- Song, W., Wang, Y., Huang, D., & Tjondronegoro, D. (2018). A rapid scene depth estimation model based on underwater light attenuation prior for underwater image restoration. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 11164 LNCS, 678–688. doi: 10.1007/978-3-030-00776-8\_62
- Stockwell, R. G. (1996). Localization of the complex spectrum: the s transform. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 44(4), 993. doi: 10.1109/78.492555
- Stockwell, R. G. (2007). A basis for efficient representation of the S-transform. *Digital Signal Processing: A Review Journal*, 17(1), 371–393. doi: 10.1016/j.dsp.2006.04.006
- Wang, X., Liu, A., Zhang, Y., & Xue, F. (2019). Underwater acoustic target recognition: A combination of multi-dimensional fusion features and modified deep neural network. *Remote Sensing*, 11(16). doi: 10.3390/rs11161888
- Yaman, O., & Tuncer, T. (2021). Ensemble NASNet Deep Feature Generator Based Underwater Acoustic Classification Model. *Veri Bilimi*, 4(2), 33–39.
- Yaman, O., Tuncer, T., & Tasar, B. (2021). DES-Pat: A novel DES pattern-based propeller recognition method using underwater acoustical sounds. *Applied Acoustics*, 175, 107859. doi: 10.1016/j.apacoust.2020.107859



# Optimizasyon Tabanlı FIR Süzgeç Tasarımlarında Performans Analizi

Mehmet Fatih Karakaş<sup>1,2\*</sup>, Fatma Latifoğlu<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

<sup>1\*</sup> Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye  
(ORCID: 0000-0003-0233-6141), [karakasmf@gmail.com](mailto:karakasmf@gmail.com)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye  
(ORCID: 0000-0003-2018-9616), [flatifoglu@erciyes.edu.tr](mailto:flatifoglu@erciyes.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 28 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 15 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.958748)

**ATIF/REFERENCE:** Karakas, M. F., Latifoglu F. (2021). Optimizasyon Tabanlı FIR Süzgeç Tasarımlarında Performans Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 8-22.

## Öz

There are two types of digital filters designed and used on digital signal processing systems: finite impulse response (FIR) and infinite impulse response (IIR). There are two approaches used during the design of FIR filters. The first of these is classical methods, while the other is optimization-based methods. The use of metaheuristic algorithms in optimization-based methods has been increasing in recent years, especially in order to realize more performance filter designs. In order to design a filter as close to the ideal as possible, in this study, FIR filter designs were carried out with metaheuristic algorithms using the multi-objective error approach, and the performance parameters of these designed filters were analyzed. FIR filter coefficients were optimized using Genetic Algorithm, Particle Swarm Optimization Algorithm, Artificial Bee Colony Algorithm, Black Widow Algorithm, Squirrel Search Algorithm, and Harmony Search Algorithm. When the obtained results and literature studies were compared, it was seen that there were significant improvements in the performance parameters of the FIR filter obtained with the proposed approach

**Anahtar Kelimeler:** Metasezgisel Algoritmalar, FIR Filtre Tasarımı, Sinyal İşleme, Optimizasyon.

## Performance Analysis in Optimization Based FIR Filter Designs

### Abstract

There are two types of digital filters designed and used on digital signal processing systems: finite impulse response (FIR) and infinite impulse response (IIR). There are two approaches used during the design of FIR filters. The first of these is classical methods, while the other is optimization-based methods. The use of metaheuristic algorithms in optimization-based methods has been increasing in recent years, especially in order to realize more performance filter designs. In order to design a filter as close to the ideal as possible, in this study, FIR filter designs were carried out with metaheuristic algorithms using the multi-objective error approach, and the performance parameters of these designed filters were analyzed. FIR filter coefficients were optimized using Genetic Algorithm, Particle Swarm Optimization Algorithm, Artificial Bee Colony Algorithm, Black Widow Algorithm, Squirrel Search Algorithm, and Harmony Search Algorithm. When the obtained results and literature studies were compared, it was seen that there were significant improvements in the performance parameters of the FIR filter obtained with the proposed approach.

**Keywords:** Metaheuristic Algorithms, FIR Filter Design, Signal Processing, Optimization.

\* Sorumlu Yazar: Mehmet Fatih Karakaş, ORCID: 0000-0003-0233-6141, [karakasmf@gmail.com](mailto:karakasmf@gmail.com)



## 1. Giriş

Dijital Sinyal İşleme (DSP) sistemleri üzerinde tasarlanan basit yapı bloklarına dijital süzgeçler denir (Litwin, 2000). Dijital süzgeçler bir sinyalin frekans ekseninin belirli bileşenlerini istenen çıkış sinyaline göre güçlendirmek, şekillendirmek için kullanılan sistemlerdir. Sonsuz dürtü yanıtı (IIR) süzgeçler ve sonlu dürtü yanıtı (FIR) süzgeçler olmak üzere iki ana süzgeç türü vardır. FIR süzgeçler her bir giriş dizisinin ağırlıklı toplamlarından oluşan lineer zamanla değişmeyen (LZD) sistemlerdir. Her zaman durağan olan bu sistemler lineer faz yanıtına sahiptir ve bu avantajları dolayısıyla geniş kullanım alanları bulunmaktadır. FIR süzgeçler gürültü azaltma, istenen frekans iyileştirme ya da bastırma gibi hem sinyallere hem de görüntülere uygulanabilmektedir (Oppenheim, 1999). Dijital süzgeçler aynı zamanda elektrokardiyografi (EKG) gibi biyomedikal sinyaller üzerine gürültü azaltma, özellik çıkarımı gibi çeşitli analizleri gerçekleştirme amacıyla da uygulanmaktadır.

FIR süzgeç tasarımı konusunda 2 yaklaşım mevcuttur. Bunlardan ilki klasik yöntemler diğeri ise optimizasyon tabanlı yöntemlerdir. Klasik yöntemlerde pencereleme, frekans örnekleme, ağırlıklı en küçük kareler veya eşdüzey yöntemi ile adaptif FIR süzgeç tasarımı mümkündür. Ancak bu yöntemlerde geçirme ve durdurma bandı dalgalanmaları, geçiş bandı genişliği, geçirme ve durdurma bandı kesim frekansı gibi parametreler tam istenildiği gibi kontrol edilememektedir. Diğer bir yaklaşım olan optimizasyon tabanlı tasarımlarda bu parametreler bir hata fonksiyonu olarak tanımlanarak bu hata fonksiyonunun minimum yapılması amaçlanmaktadır. FIR süzgeç dizaynı konusunda optimizasyon tabanlı çeşitli uygulamalar bulunmaktadır (Parks & Burrus, 1987; Proakis, 2001).

Optimizasyon tabanlı süzgeç tasarımlarında çeşitli yaklaşımlar ve yöntemler kullanılmaktadır. Literatürde optimizasyon tabanlı süzgeç tasarımı için; Genetik Algoritma (GA) (N. Karaboga & Cetinkaya, 2004; Kaya & İnce, 2011; Najjarzadeh & Ayatollahi, 2008; Zhang et al., 2003), Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması PSO (Chen & Luk, 2010; Gupta & Mehra, 2011; Najjarzadeh & Ayatollahi, 2008), Diferensiyel Gelişim Algoritması (DE) (N. Karaboga, 2005; N. Karaboga & Cetinkaya, 2006; Reddy & Sahoo, 2015), Yapay Arı Kolonisi Algoritması (ABC) (Bose et al., 2014; N. Karaboga, 2009; Karaboğa & Çetinkaya, 2011; Latifoğlu, 2020; Latifoğlu, 2013), Harmoni Arama Algoritması (HA) (Manuel & Elias, 2012; Saha et al., 2013), Sincap Arama Algoritması (SSA) (Karakaş & Latifoğlu, 2020; Nagasirisha & Prasad, 2020) kullanılan çalışmalar mevcuttur. Ancak Karadul Örümceği Algoritması (BWO) için herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca Kumar ve ark. 2021 yılında yaptığı "Dijital Filtre Tasarımı İçin Optimizasyon Algoritmalarının İncelenmesi ve Analizi" isimli araştırma çalışmasında bu algoritmalarla yapılmış filtre tasarımları incelenmiştir (S. Kumar & others, 2021).

İdeal yapıdaki bir FIR süzgeç zaman ekseninde ileri yönlü fark denklemleri kullanılarak

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} b_k x[n-k] \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Bu denklemde  $b_k$  FIR süzgeç katsayılarıdır. Bir LZD sistemin dürtü yanıtı  $h[n]$ , sistem girişine uygulanan  $\delta[n]$  lerin toplamı şeklinde gösterilebilir ve ideal olmayan M. dereceden bir FIR süzgeç için

$$h[n] = \sum_{k=0}^M b_k \delta[n-k] \quad (2)$$

şeklinde tanımlanabilir.

$h[n]$  hesaplanarak elde edilen FIR süzgecin Z eksenindeki transfer fonksiyonu

$$H[Z] = \sum_{k=0}^M b_k Z^{-k} \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır.

FIR süzgece ait olan  $b_k$  katsayıları yukarıda bahsi geçen optimizasyon algoritmaları kullanılarak optimize edilecek parametreler olarak belirlenebilmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada optimizasyon tabanlı FIR süzgeç tasarlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Genetik Algoritma, Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması, Diferansiyel Gelişim Algoritması, Yapay Arı Kolonisi Algoritması, Karadul Örümceği Algoritması, Sincap Arama Algoritması, Harmoni Arama Algoritması kullanarak  $b_k$  katsayıları optimize edilmiştir. Optimizasyon işlemi sırasında amaç fonksiyonu çoklu parametreye dayalı olarak elde edilmiştir.

Özet olarak bu çalışma;

- FIR süzgeç tasarımında Karadul Örümceği Algoritmasının ilk defa kullanılıyor olması açısından,
- Yukarıda belirtilen optimizasyon algoritmalarının tümünün FIR süzgeç tasarımında performansının test edilerek ilk defa karşılaştırılması açısından,
- Amaç fonksiyonunun çoklu performans parametresine bağlı olarak gerçekleştirilmesi açısından,

özgünlük içermektedir.

Makalenin organizasyonu şu şekildedir; 2. bölüm materyal ve metoddan oluşmaktadır ve süzgeç tasarımı için kullanılan algoritmalar ile gerçekleştirilen işlem adımları kısaca açıklanmıştır. 3. bölümde süzgeç tasarımına ait performans sonuçları verilmiştir ve elde edilen bulgular tartışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu bölümde süzgeç tasarımı için kullanılan optimizasyon algoritmaları kısaca açıklanmıştır. Kullanılan hata fonksiyonlarının ve süzgeç performans parametrelerinin eldesi ortaya konulmuştur. Algoritmalarla ilişkin kontrol parametrelerini belirlemek için literatürde bu algoritmalar ile yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. İncelenen çalışmalarda kontrol parametreleri ufak değişiklikler göstermekte olup genel itibarı ile standartlaşmıştır. Bu nedenle bu parametreler ve değişik değerlerdeki parametreler ile testler yapılarak en optimum

parametreler belirlenmiştir. Buna göre belirlenen algoritma kontrol parametreleri Tablo 1-2-3-4-5-6-7’de verildiği üzeredir.

Tüm analizler Windows-10 işletim sistemine, 3 GHz AMD Ryzen 5 4600H işlemci, 8 GB 3200 MHz RAM ve 4 GB NVIDIA GeForce GTX 1650 ekran kartı kullanan bir bilgisayar üzerinde MATLAB 2020b kullanılarak yapılmıştır.

## 2.1. Genetik Algoritma

Genetik algoritma (GA); stokastik arama sürecine dayanan bir optimizasyon tekniğidir. Darwin’in yaşayan canlıların doğal evrim süreçleri ilham alınarak tasarlanmıştır. Doğal seçim ve üreme olmak üzere iki adet mekanizmadan oluşur bu optimizasyon tekniğinde en iyi bireylere ait özellikler genetik miras olarak sonraki nesle aktarılarak küresel en iyiye yaklaşım gerçekleştirilir. Tekrarlı üreme ile uygunluk değeri yüksek olan bireylerin hayatta kalması ve sayılarının artması, uygunluk değeri düşük olan bireylerin ise sayılarının azalarak kaybolması amaçlanır. Çaprazlama ile iki bireyden yeni iki birey elde edilir. Çaprazlama iyi bireyler kullanılarak daha iyi bireylerin elde edilmesi amacıyla yapılır. Mutasyon ile elde bulunan çözümlerin değiştirilerek yeni bireyler elde edilmesi amaçlanır. Mutasyon sayesinde yerel minimum değerlere takılmadan küresel bir arama gerçekleştirilmesi sağlanır (Holland & others, 1992; Jarraya & Bourri, 2012)

Genetik algoritmanın temel adımları aşağıdaki gibidir;

- Rastgele değerlerden oluşan N kromozomlu bir popülasyonun oluşturulması.
- Her kromozoma ait uygunluk değerlerinin hesaplanması.
- Durdurma kriterini kontrol et, durdurma kriteri sağlanana kadar aşağıdaki adımların tekrarlanması
  - Bir çift ebeveyn kromozom seçilmesi.
  - Çaprazlamanın yapılması.
  - Mutasyonun yapılması
- Adım 2’ye geri dön.

Bu çalışmada süzgeç tasarımı aşamasında GA için parametrelerin seçimi deneysel olarak belirlenmiş ve Tablo 1’de bu parametreler verilmiştir.

Tablo 1 GA Parametreleri

Parametreler	Değerler
Çaprazlama Oranı	0,650
Mutasyon Oranı	0,100
Elit Birey Oranı	0,250

## 2.2. Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO); sürü halinde hareket eden canlıların yiyecek arama, güvenlik gibi genellikle rastgele sergiledikleri hareketleri taklit ederek optimum çözüme ulaşmayı hedefleyen bir algoritmadır. PSO’da; bireylerin yani parçacıkların kendi aralarında gerçekleştirmiş oldukları sosyal bilgi paylaşımını temel alarak bu parçacıkların sürü içerisinde bulunan en iyi parçacığa yaklaştırılması esas alınmaktadır. Parçacıklar eski konumlarının bilgisini kullanarak kendilerini sürü içerisindeki en iyi parçacığa doğru yönlendirir. Bu

yaklaşma işlemi rastgele sürdürülür ve optimum çözüme ulaşılan kadar devam eder (Clerc & Kennedy, 2002).

PSO algoritmasının temel adımları aşağıdaki gibidir;

- Bütün parçacıklar için başlangıç hız ve konum değerleri ile algoritma başlangıç parametrelerinin belirlenmesi.
- Bütün parçacıkların uygunluk değerlerini belirlenmesi.
- Yerel ve küresel en iyi çözümleri belirlenmesi.
- Bütün parçacıklar için; hız ve pozisyon değerlerinin güncellenmesi.
- Durdurma kriterini kontrol et, durdurma kriteri sağlanmıyorsa Adım 2’ye geri dön.

Bu çalışmada süzgeç tasarımı aşamasında PSO için parametrelerin seçimi deneysel olarak belirlenmiş ve Tablo 2’de bu parametreler verilmiştir.

Tablo 2 PSO Parametreleri

Parametreler	Değerler
Çaprazlama Oranı	0,650
Mutasyon Oranı	0,100
Elit Birey Oranı	0,250

## 2.3. Diferansiyel Gelişim Algoritması

Diferansiyel gelişim algoritması (DE); çalışma prensibi bakımında genetik algoritmaya oldukça benzeyen popülasyon tabanlı bir optimizasyon algoritmasıdır. Sürekli değişkenli problemlerin çözümüne yönelik olarak geliştirilen DE, GA’da olduğu gibi popülasyona dayalı olarak çalışmak yerine tek tek kromozomlar üzerinde mutasyon ve çaprazlama operatörlerinin işleme geçirilmesi ile yeni bireyleri elde eder (Storn & Price, 1997).

DE algoritmasının temel adımları aşağıdaki gibidir:

- Başlangıç popülasyonunun oluşturulması.
- Uygunluk değerlerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi.
- Durdurma kriterini kontrol et, durdurma kriteri sağlanana kadar aşağıdaki adımların tekrarlanması.
  - Mutasyon
  - Rekombinasyon
  - Seleksiyon
- Adım 2’ye geri dön

Bu çalışmada süzgeç tasarımı aşamasında DE için aşağıdaki tabloda belirtilen parametreler kullanılmıştır. Parametrelerin seçimi deneysel olarak belirlenmiş ve Tablo 3’de bu parametreler verilmiştir.

Tablo 3 DE Parametreleri

Parametreler	Değerler
Beta Min	0,200
Beta Max	0,800
Çaprazlama Olasılığı	0,200

## 2.4. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Yapay Arı Kolonisi (ABC); bal arılarının yiyecek arama davranışı esnasında arıların kendi aralarında iletişime geçerek en iyi yiyeceğin bulunduğu yani optimum çözümün bulunduğu konum bilgisinin birbirleri arasında paylaşılması ve bu konum bilgisinin güncellenmesi esasına dayanmaktadır. Her arı bir yiyecek kaynağına konumlanarak bu kaynağın komşularının çözümleri araştırılır. Bu algoritmada üç çeşit arı bulunmaktadır ve bu arı türlerinin davranışları birbirinden farklıdır. İşçi arılar, hafıza elemanı olarak görev alarak hafızada tuttuğu kaynağın komşuluklarında bulunan çözümleri araştırarak bulunduğu daha iyi çözümlerle hafızasını günceller. Gözcü arılar; bir hafıza elemanına sahip değildir. İşçi arılardan elde edilen bilgiye göre uygunluk değeri yüksek olma ihtimali olan bir kaynağı yiyecek kaynağı olarak seçer. Gözcü arı seçilen bu kaynağın komşuluklarını araştırarak daha iyi olan çözümlerle kaynağın konum bilgisini günceller. Bir kaynağın araştırılma sayısının bir limit değerine ulaşması bu kaynaktaki yiyeceğin tükendiği anlamına gelir. Kaynaktaki bulunan arı araştırmayı bırakarak kaşif arı olur. Bu kaşif arı araştırma yapma üzere rastgele yeni bir kaynak seçer. Bu rastgele kaynak seçimi yerel minimumlara algoritmanın takılması engellemek içindir (D. Karaboga, 2005).

ABC algoritmasının temel adımları aşağıdaki gibidir:

- Başlangıç yiyecek kaynaklarının rassal bir şekilde üretilmesi.
- İşçi arıların bu kaynaklara yine rassal olarak yönlendirilmesi.
- Olasılıksal seçimde kullanılmak üzere bulunan yeni çözüm için olasılık değerinin hesaplanması.
- Hesaplanan olasılık değerine göre gözcü arıların yiyecek kaynağına gönderilmesi.
- Nektarı biten kaynağın bırakılması ve kaşif arı üretimi.

Bu çalışmada süzgeç tasarımı aşamasında ABC için parametrelerin seçimi deneysel olarak belirlenmiş ve Tablo 4'de bu parametreler verilmiştir.

Tablo 4 ABC Parametreleri

Parametreler	Değerler
Terketme Limit Oranı	0,600
Hızlandırma Katsayısı	1,000

## 2.4. Karadul Örümceği Optimizasyon Algoritması

Karadul Örümcek Algoritması (BWO); karadul örümceklerinin üreme ve sonrasında ortaya çıkan yeni yavruların birbirleri arasındaki hayatta kalma ilişkilerini taklit eden popülasyon tabanlı bir algoritmadır. Karadul örümceklerinin dişi bireyleri üreme sonrasında erkek bireyleri yer. Daha sonrasında ortaya çıkan yeni yavrular arasında da yamyamlık gözükür. Bu yamyamlık neticesinde yavru karadul örümcekleri arasında güçlü olanlar hayatta kalarak güçsüz olanlar yok olur. Yavrular yeterince büyüdükten sonra annelerine de yamyamlık yapma ihtimalleri bulunmaktadır. Genetik algoritmaya çaprazlama, mutasyon gibi parametreler konusunda oldukça benzer olan bu yeni nesil algoritmada ekstra olarak yamyamlık durumu bulunmaktadır (Hayyolalam & Pourhaji Kazem, 2020).

BWO algoritmasının temel adımları aşağıdaki gibidir:

- Başlangıç popülasyonunun rastgele oluşturulması.
- Bütün bireylere ait uygunluk değerlerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi.
- Durdurma kriterini kontrol et, durdurma kriteri sağlanana kadar aşağıdaki adımların tekrarlanması.
  - Bir çift ebeveyn seçilmesi.
  - Çaprazlamanın yapılması.
  - Yamyamlık
  - Mutasyon
  - Popülasyonun güncellenmesi
- Adım 2'ye geri dön.

Bu çalışmada süzgeç tasarımı aşamasında BWO için parametrelerin seçimi deneysel olarak belirlenmiş ve Tablo 5'de bu parametreler verilmiştir.

Tablo 5 BWO Parametreleri

Parametreler	Değerler
Çaprazlama Oranı	0,800
Mutasyon Oranı	0,400
Yamyamlık Oranı	0,500

## 2.5. Sincap Arama Algoritması

Sincap arama algoritması (SSA); uçan sincapların yiyecek arama ve hayatta kalma döngülerini taklit eden bir algoritmadır. Burada uçan sincap olarak adlandırılan keseliler süzülme hareketi yaparak yaşadıkları ağaçlar arasında hızlı bir şekilde pozisyon değiştirmektedirler. Bu pozisyon değiştirme işlemi yiyecek kaynağı açısından sıradan olan meşe palamudu ağaçları ile normal ağaçlardan yiyecek kaynağı açısından bol olan Kuzey Amerika Cevizi ağacına doğrudur. Bu pozisyon değiştirme işlemi mevsim durumuna göre ve ortamda bulunan yırtıcı olasılığından etkilenir. Eğer yırtıcı olasılığı belirlenen değerden yüksek ise hareket eden sincap ölür ve yeni bir sincap popülasyona dahil edilir. Mevsim durumu yaz iken hareket halinde olan sincaplar mevsim durumu kış olduğundan yani durdurma kriteri sağlandığında yeterince yiyecek toplamış ve küresel optimuma yaklaşmış var sayılırlar (Jain et al., 2019).

SSA algoritmasının temel adımları aşağıdaki gibidir:

- Rastgele konumlarda sincapların oluşturulması.
- Sincapların uygunluk değerlerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi.
- Uygunluk değerlerine göre sincapların sıralanması ve bu sincaplar arasından rastgele seçimlerin yapılması.
  - En iyi uygunluk değerine sahip olan sincap Amerikan ceviz ağacında varsayılır.
  - Sonraki en iyi uygunluk değerine sahip 3 sincap meşe palamudu ağacında varsayılır.
  - Kalan sincaplar normal ağaçta var sayılır
- Sincaplar harekete geçmesi. Sincap hareketi 3 durumda olabilir.
  - Meşe palamudu ağacındaki sincaplar ortamda bulunan yırtıcı olasılığı göz önüne alınarak Amerikan ceviz ağacına doğru hareket edebilir.

- Normal ağaçlarda bulunan sincaplar ortamda bulunan yırtıcı olasılığı göz önüne alınarak Amerikan ceviz ağacına doğru hareket edebilir.
- Normal ağaçlarda bulunan sincaplar ortamda bulunan yırtıcı olasılığı göz önüne alınarak meşe palamudu ağacına doğru hareket edebilir.
- Mevsim durumunun kontrol edilmesi. Eğer kış mevsimi ise sincaplar rastgele konumlarda tekrar oluşturulur, değilse algoritma devam eder.
- Adım 2' ye geri dön.

Bu çalışmada süzgeç tasarımı aşamasında SSA için parametrelerin seçimi deneysel olarak belirlenmiş ve Tablo 6'da bu parametreler verilmiştir.

Tablo 6 SSA Parametreleri

Parametreler	Değerler
Yırtıcı Olasılığı	0,100
Süzülme Katsayısı	1,900
Meşe Palamudu Oranı	0,600

## 2.6. Harmoni Arama Algoritması

Harmoni Arama Algoritması (HA); müzik tabanlı bir meta sezgisel algoritma olarak optimizasyon problemlerini çözmek amaçlı geliştirilmiştir (Geem et al., 2001). HA'da her müzisyen, daha iyi parçalar çalmak amacıyla amacına uygun olan iyi notları yani yerel çözümleri hafızasında tutar. Bu algorithmada bir müzisyen üç farklı şekilde en iyi harmoniyi, küresel çözümü, müzik parçasını bulur;

- Hafızasında tuttuğu be iyi olduğunu düşündüğü bir notayı çalarak. (Ezberleme)
- Hafızasındaki bu notayı iyileştirerek. (İyileştirme)
- Rastgele notalar üretmek. (Geliştirme)

HA algoritmasının temel adımları aşağıdaki gibidir:

- Başlangıç parametrelerini ve rastgele notaları oluştur.
- Esinlenme ile yeni bir çözüm oluştur.
- Çözümleri hesapla ve değerlendir.
- Sonlandırma kriterini kontrol et. Sağlanıyorsa algoritmayı durdur. Sağlanmıyorsa Adım 2'ye geri dön.

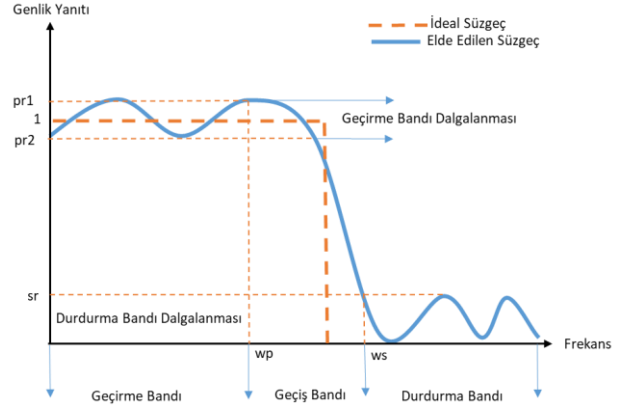
Bu çalışmada süzgeç tasarımı aşamasında HA için parametrelerin seçimi deneysel olarak belirlenmiş ve Tablo 7'de bu parametreler verilmiştir.

Tablo 7 HA Parametreleri

Parametreler	Değerler
Yeni Harmoni Sayısı	20,000
Harmoni Hafızası Önem Oranı	0,900
Adım Ayarlama Oranı	0,100
Perde Genişliği Azaltma Oranı	0,995

## 2.6. Hata Fonksiyonunun Tanımlanması

Bu çalışmada FIR süzgece ait  $b_k$  katsayıları, optimize edilecek parametreler olarak belirlenmiştir.  $b_k$  katsayılarının değerlerine göre ideal olmayan FIR süzgecin performans parametreleri belirlenmektedir. Bu parametreler Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. FIR Filtre Parametreleri

İdeal olmayan FIR süzgece ait performans parametreleri aşağıda verilmektedir.

- Geçirme ve durdurma bandı dalganmaları ( $pr1$ ,  $pr2$ ,  $sr$ )

$$pr1 = \max \{ Peaks (H(e^{jw})) \} w \leq w_p$$

$$pr2 = \min \{ Peaks (-H(e^{jw})) \} w \leq w_p$$

$$sr = \max \{ Peaks (-H(e^{jw})) \} w \geq w_s$$

- Geçirme, geçiş ve durdurma bandı hataları ( $Ep$ ,  $Et$ ,  $Es$ )

$$Ep = \frac{1}{\pi} \sum_0^{w_p} [H(e^{j0}) - H(e^{jw})]^2$$

$$Et = [(H(e^{j\frac{1}{\pi}}) - (0.707H(e^{j0})))^2]$$

$$Es = \frac{1}{\pi} \sum_{w_s}^{\pi} [H(e^{jw})]^2$$

- İdeal süzgeç ile elde edilen süzgeç arasındaki korelasyon

$$cc = korelasyon\{H(e^{jw}), H_{istenen}\}$$

İdeal süzgeç için yukarıda tanımlanan bütün parametrelerin sıfır olması gerekmektedir. Bu parametreler belirlenen algoritmalar için hata vektörü olarak belirlenmiştir ve hata vektörü ile hata fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$Hata(X) = [pr1, pr2, sr, Ep, Et, Es, cc]$$

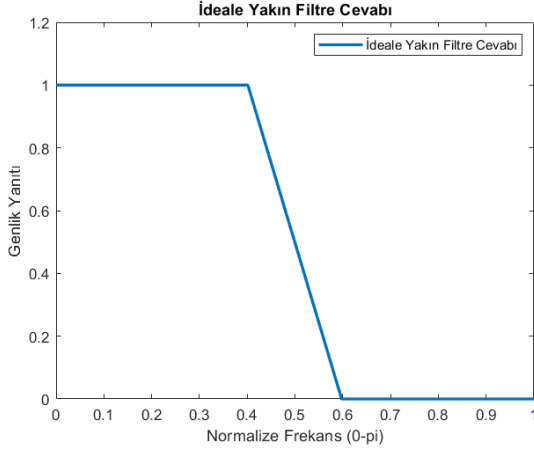
$$ToplamHata = \sum_{i=1}^7 X_i$$

Süzgeç yapısı oluşturulurken; ideale yakın olması açısından geçirme bandı frekansı ( $w_p$ ) olarak normalize frekans 0.49 rad/pi durdurma bandı frekansı ( $w_s$ ) olarak normalize frekans 0.51 rad/pi belirlenmiştir. İdeale yakın süzgeç yapısı oluşturulurken aşağıdaki kod bloğu kullanılmıştır;



```
function hd = HDesired(wp,ws)
wd=1/1024:1/1024:1;
hx1=ones(1,length(find(wd<wp)));
hx2=linspace(1,0,length(find(wp<=wd&wd<=ws)));
hx3=zeros(1,length(find(wd>ws)));
hd=[hx1,hx2,hx3];
end
```

İdeale yakın süzgece ait frekans yanıtı Şekil 2'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 2. İdeale Yakın Süzgeç Frekans Yanıtı

Yukarıda bahsi geçen bütün algoritmalar için süzgeç katsayılarının hesaplanması için kullanılan parametreler Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8 Algoritma Genel Parametreleri

Parametreler	Değerler
Popülasyon	100
İterasyon Sayısı	2500
wp	0,49
ws	0,51

Her bir algoritma ile elde edilen farklı derecelerdeki süzgeçler için performans parametreleri de incelenmiştir. Kullanılan performans parametreleri aşağıda verildiği üzere.

- Geçirme bandı maksimum dalgalanma miktarı

$$pr1 = \max \{ Peaks (H(e^{jw})) \}$$

$$w \leq w_p$$

- Durdurma bandı minimum dalgalanma miktarı

$$pr2 = \min \{ Peaks (-H(e^{jw})) \}$$

$$w \leq w_p$$

- Desibel cinsinden durdurma bandı zayıflaması

$$As = -20 \log \left( \max \{ Peaks (-H(e^{jw})) \} \right) w \geq w_s$$

- Geçirme bandı toplam hatası

$$Ep = \frac{1}{\pi} \sum_0^{wp} [H(e^{j0}) - H(e^{jw})]^2$$

- Durdurma bandı toplam hatası

$$Es = \frac{1}{\pi} \sum_{ws}^{\pi} [H(e^{jw})]^2$$

- Geçiş bandı toplam hatası

$$Et = [(H(e^{j\frac{1}{\pi}}) - (0.707H(e^{j0}))]^2$$

- Toplam iterasyon süresi (total iter time)

### 3. Sonuçlar

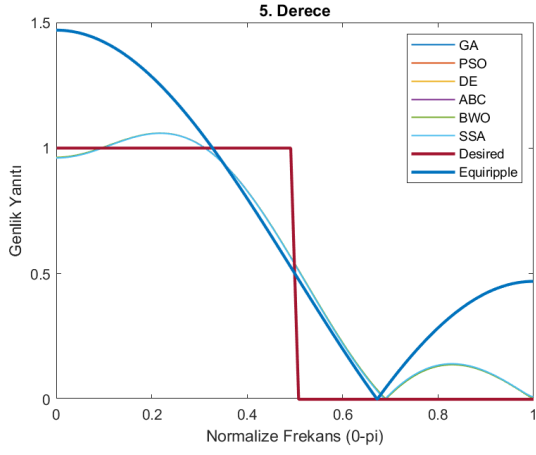
Bahsi geçen algoritmalar ve hata fonksiyonu kullanılarak elde edilen FIR süzgeçlere ait  $b_k$  katsayıları ve bu katsayılar ile elde edilmiş frekans yanıtları Tablo 10-11-12-13-14-15' de verilmiştir. Elde edilen tüm süzgeçler için ayrıca performans parametreleri karşılaştırmaları Tablo 16' de verilmiştir. Tablo 17'de tüm performans parametreleri için en iyi sonucu veren algoritma belirtilmiştir.

Örneğin tasarlanan 5. dereceden FIR süzgecin performans parametreleri incelendiğinde SSA algoritması ile optimize edilen süzgeç katsayılarına ait frekans yanıtının geçirme bandı maksimum dalgalanması, durdurma bandı toplam hatası, geçiş bandı hatası diğer algoritmalara göre daha iyi sonuç vermiştir.

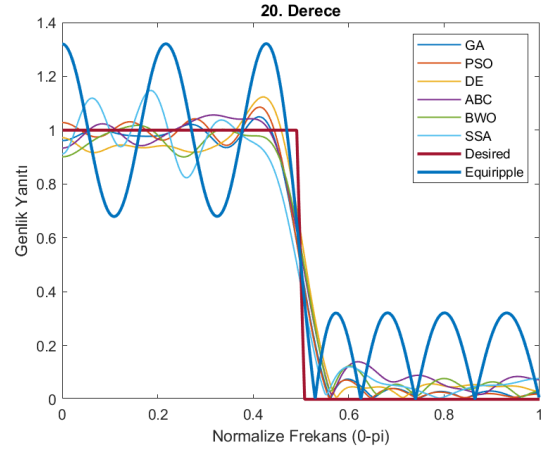
30. dereceden FIR süzgecin performans parametreleri incelendiğinde ise PSO algoritması ile optimize edilen süzgeç katsayılarına ait frekans yanıtının geçirme bandı minimum dalgalanması, geçirme bandı toplam hatası ve durdurma bandı toplam hatası diğer algoritmalara göre daha iyi sonuç vermiştir.

Tasarlanan süzgecin performansı klasik yöntemlerden olan equiripple FIR süzgeç yapısı ile karşılaştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda tüm süzgeç dereceleri için optimizasyon algoritmaları ile elde edilen frekans yanıtları ve equiripple yöntemi ile elde edilen frekans yanıtları Şekil 3-4-5-6-7-8'de görülmektedir. Şekiller incelendiğinde; önerilen yöntemin geçirme bandı dalgalanmaları, durdurma bandı dalgalanmaları ve bunlara ait performans parametrelerinin daha üstün olduğu açıkça görülmektedir.

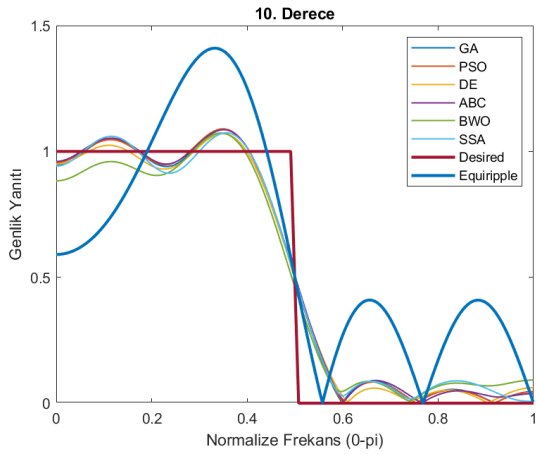
Literatür çalışmalarda hata fonksiyonunun eldesi aşamasında genellikle geçirme ve durdurma bandı hataları toplamı (Aggarwal et al., 2016; Saha et al., 2014; Shao et al., 2017) ya da istenilen frekans yanıtı ile tasarlanan frekans yanıtı arasındaki farkın ortalama karesel hatası kullanılmıştır (N. Karaboga & Cetinkaya, 2006). Önerilen bu çalışmada; çoklu hata parametreleri göz önünde bulundurularak çok amaçlı hata yaklaşımı sergilenmiştir. Literatürdeki çalışmalardan PSO (Sarangi et al., 2020), ABC (A. Kumar et al., 2017), GA ve DE (N. Karaboga & Cetinkaya, 2006) için karşılaştırma yapabilme amacıyla 0 - 0.4π geçirme bandına sahip, 0.6π - π durdurma bandına sahip 20. dereceden FIR süzgeç tasarlanmıştır. Tasarıma ait karşılaştırma tablosu Tablo 9'da verilmiştir. Tablo 9'da koyu olarak verilen değerler diğer metoda göre daha iyi sonuçlar veren değerlerdir. Tablo 9 incelendiğinde; önerilen metodun PSO için pr1,pr2,sr,AS,Ep,Et için daha iyi sonuçlar verdiği, ABC için; pr1,pr2 ve Et için daha iyi sonuçlar verdiği, GA için sr, AS, Et, Es için daha iyi sonuçlar verdiği ancak DE için herhangi bir iyileştirme yapılmadığı görülmektedir.



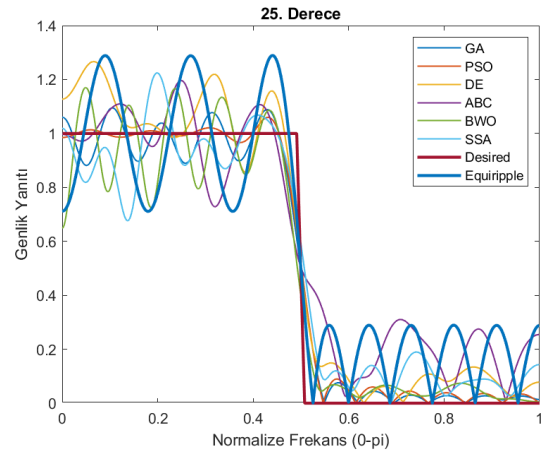
Şekil 3 5. Dereceden Süzgeç Frekans Yanıtı



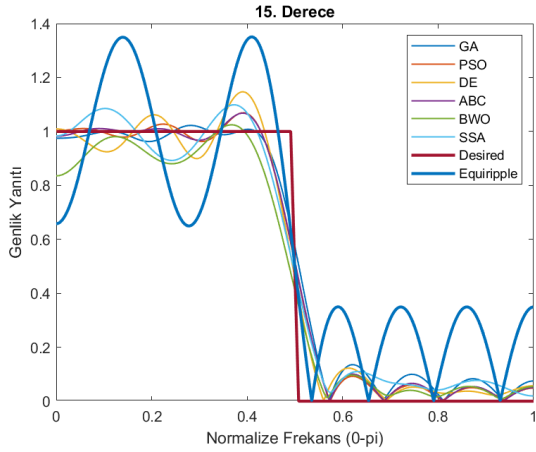
Şekil 6 20. Dereceden Süzgeç Frekans Yanıtı



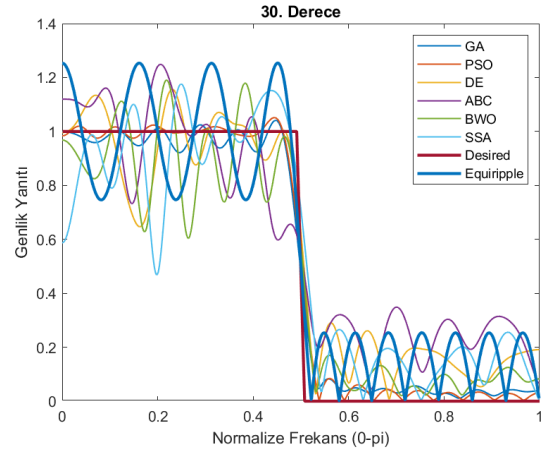
Şekil 4 10. Dereceden Süzgeç Frekans Yanıtı



Şekil 7 25. Dereceden Süzgeç Frekans Yanıtı



Şekil 5 15. Dereceden Süzgeç Frekans Yanıtı



Şekil 8. 30. Dereceden Süzgeç Frekans Yanıtı

Tablo 9. 20. Dereceden Literatür Karşılaştırma

	PSO		ABC		GA		DE	
	Literatür	Önerilen	Literatür	Önerilen	Literatür	Önerilen	Literatür	Önerilen
Pr1	0,01818	<b>0,00631</b>	0,22547	<b>0,12405</b>	<b>0,03910</b>	0,04518	<b>0,03385</b>	0,14076
Pr2	0,04481	<b>0,00039</b>	0,31120	<b>0,06088</b>	<b>0,03445</b>	0,03656	<b>0,02809</b>	0,04026
Sr	0,07781	<b>0,00954</b>	<b>0,11384</b>	0,23751	0,05326	<b>0,03143</b>	<b>0,09604</b>	0,16331
AS	51,07025	<b>93,04556</b>	<b>43,45970</b>	28,75051	58,65271	<b>69,20062</b>	<b>46,85946</b>	36,24192
Ep	0,96522	<b>0,03217</b>	<b>12,72669</b>	2,75524	<b>0,51085</b>	0,58851	<b>0,39536</b>	1,76307
Et	0,46000	<b>0,02978</b>	2,22048	<b>15,95833</b>	0,52149	<b>0,19029</b>	<b>0,63342</b>	5,55188
Es	<b>0,05460</b>	0,08299	<b>0,03294</b>	0,13967	0,07597	<b>0,06608</b>	0,07801	<b>0,07245</b>

Tablo 10. 5. Dereceden FIR Filtre Katsayıları

$b_k$	GA	PSO	DE	ABC	BWO	SSA	HA
1	0,3037761879	-0,1496075077	-0,1500752791	0,1500752025	0,3057104147	-0,3004822095	0,3036897493
2	0,4955602446	-0,0140320052	-0,0147057873	0,0147056712	0,4967495743	-0,4954656753	0,4955986739
3	0,3273919742	0,3274267867	0,3269526997	-0,3269530970	0,3247288871	-0,3277665761	0,3274941770
4	-0,0140472380	0,4956051022	0,4956064432	-0,4956065143	-0,0155115305	0,0099528304	-0,0139672896
5	-0,1495932530	0,3037539479	0,3040232559	-0,3040229455	-0,1483323672	0,1529653146	-0,1496563594

Tablo 11. 10. Dereceden FIR Filtre Katsayıları

$b_k$	GA	PSO	DE	ABC	BWO	SSA	HA
1	0,1059420541	-0,0715304257	0,0710026991	-0,1723054067	0,1074713944	-0,0684354385	0,0843801962
2	0,1265393960	-0,0340302124	0,0261703736	-0,4366283314	0,1937495733	-0,0560327401	0,0112206201
3	0,0228429004	0,0859806980	-0,0867244435	-0,4376442447	0,0302619832	0,0681358061	-0,2773930770
4	0,0132904979	0,0727848515	-0,0723600853	-0,1329407058	-0,2912659712	0,0794107484	-0,4927842082
5	0,2375636065	-0,1051542919	0,1098809817	0,1486432239	-0,4497485571	-0,0583922151	-0,3512668543
6	0,4554111197	-0,1594938383	0,1560244943	0,1229617009	-0,2771372590	-0,1677013562	-0,0220303738
7	0,3470392084	0,0987177095	-0,1128901929	-0,0649485266	-0,0002760014	0,0587251774	0,1239403603
8	-0,0033794119	0,4212087067	-0,4288881919	-0,0922514025	0,0169712247	0,3837523713	0,0066356237
9	-0,2178989531	0,4472563154	-0,4255633900	0,0271878883	-0,0832909369	0,4672414187	-0,0976213201
10	-0,1427698675	0,2003007130	-0,1868562991	0,0775144129	-0,1298126536	0,2350161403	-0,0425467122

Tablo 12. 15. Dereceden FIR Filtre Katsayıları

$b_k$	GA	PSO	DE	ABC	BWO	SSA	HA
1	0,0618276230	0,0081888844	-0,0775532498	0,0998385796	0,0531892843	0,0476627442	-0,0481737536
2	-0,0298890396	-0,0901928010	-0,0702607190	0,0860231085	0,0217074937	0,0159739111	0,0007580106
3	-0,1263592588	-0,1260753648	0,0676700241	-0,0812504248	-0,0475429827	-0,0446992121	0,0628742617
4	-0,0344492117	0,0253632991	0,1347840176	-0,1579572196	0,0056724223	-0,0200387880	0,0162005469
5	0,1647776161	0,1879467347	0,0778844016	0,0679489251	0,1568277615	0,1446961973	-0,0647093572
6	0,1660086188	0,0667543729	0,0757924396	0,4018102734	0,1268618390	0,2078426215	-0,0113857737
7	-0,0980368936	-0,2811654143	0,2543446508	0,4615915055	-0,1504754702	-0,0815972239	0,1060260031
8	-0,2841920536	-0,4703127872	0,4263148668	0,2144835222	-0,4121852115	-0,3805387829	0,0229438351
9	-0,1306520840	-0,3179855192	0,2903512994	-0,0090190800	-0,3878660202	-0,4483133942	-0,2955469555
10	0,1800336512	-0,0733721311	-0,0421560098	-0,0147840973	-0,1300876105	-0,2101618925	-0,4983516593
11	0,3186585211	-0,0080272692	-0,2556475398	0,0423809795	0,0312488166	-0,0095639551	-0,3424797044
12	0,2589557456	-0,0553224417	-0,1188974175	-0,0067314547	-0,0144337875	-0,0384325078	-0,0233969212
13	0,1957801909	-0,0216396252	0,0936154434	-0,0835886260	-0,0705201258	-0,1229641350	0,0991764513
14	0,1936079532	0,0715012036	0,1275823141	-0,0568217992	-0,0423962480	-0,0567318046	0,0091988549
15	0,1389283861	0,0816897546	0,0256397028	0,0184437536	0,0245434541	0,0133137966	-0,0564344256

Tablo 13. 20. Dereceden FIR Filtre Katsayıları

$b_k$	GA	PSO	DE	ABC	BWO	SSA	HA
1	-0,0033811821	0,0175592464	-0,0601112014	-0,0578069204	0,0077715936	-0,0530745088	0,0064063308
2	-0,0462980621	0,0381579022	-0,0555755869	-0,0159765414	-0,0465599395	-0,1323066120	-0,0188800339
3	-0,0295883608	-0,0101714747	0,0458500721	0,0439186990	-0,0216639337	-0,1854581657	0,0151125094
4	0,0189331394	-0,0473051888	0,0924368876	0,0194086241	0,0770911587	-0,1209403405	0,0256004566
5	0,0023724722	0,0033683464	-0,0320004440	-0,0308625424	0,1618414694	-0,0648454818	-0,0594649658
6	-0,0691887359	0,0572983744	-0,1036610003	0,0606181756	0,2198065707	0,0590234369	-0,1919866175
7	-0,0459082860	0,0060020888	0,0643875032	0,0359068784	0,3005765214	0,2190523910	-0,2188633345
8	0,0681952929	-0,0671818356	0,2802087315	-0,0809332743	0,3271147311	0,3801404589	-0,1927540556
9	0,1142513080	-0,0116751613	0,1968921480	-0,1831570692	0,1609764314	0,2823883255	-0,2292290313
10	0,0633238630	0,0987934115	-0,1834491596	-0,0195379737	-0,1362537623	0,0283429928	-0,2884933766
11	0,1026685527	0,0628877772	-0,3892440799	0,3378236810	-0,2286149974	-0,0961215249	-0,1604743685
12	0,3120519455	-0,0714739802	-0,3002008093	0,4856536083	-0,0289007573	0,0386000436	0,1419362699
13	0,4339632149	-0,0190135616	-0,0990358261	0,2715336732	0,1617914563	0,2053680944	0,2972913432
14	0,2321729616	0,2775313699	-0,0858936169	0,0113265155	0,1079995420	0,1721483312	0,1003763574
15	-0,1171914062	0,4875204674	-0,1107580559	-0,0243546533	-0,1137014249	-0,0137772453	-0,1749820293
16	-0,2289862449	0,3491358122	-0,0592700786	0,0858461691	-0,1304559535	-0,0902486994	-0,1867767452
17	-0,0607012953	0,0330711105	-0,0206409018	0,0726695075	0,0211187036	0,0484200457	0,0132982178
18	0,1083442307	-0,1233278205	-0,0341552720	-0,0158368469	0,0981416455	0,1469164814	0,1233845871
19	0,0962592157	-0,0651787898	-0,0666078499	-0,0353491040	0,0154096096	0,0754289620	0,0559173155
20	0,0100739639	0,0122628758	-0,0511084412	-0,0275088616	-0,0525667031	0,0127303557	-0,0313606285

Tablo 14. 25. Dereceden FIR Filtre Katsayıları

$b_k$	GA	PSO	DE	ABC	BWO	SSA	HA
1	-0,0104140358	-0,0418676106	-0,0814172151	-0,0260792432	0,0460874454	-0,0734783334	0,0163967584
2	0,0115130181	-0,0326895177	-0,1692957137	-0,1219835806	0,1168747521	-0,1344271728	0,1166386561
3	0,0137206355	-0,0241468829	-0,1539260751	0,0005017398	0,1549341446	-0,0099089674	0,1750681911
4	0,0525470661	-0,0680634240	-0,1691508568	0,0586392862	0,1168765064	0,0162824320	0,1049008897
5	0,1292736269	-0,0995637628	-0,2276059447	-0,0211990632	0,0202269225	-0,0045689462	-0,0129332996
6	0,1528801364	-0,0215694919	-0,2871023744	0,0712563156	-0,0088071027	-0,0409821361	-0,0268508331
7	0,0368263159	0,1215834648	-0,2602599632	0,0064299806	0,0003951338	0,0643214527	0,0385740192
8	-0,1199450073	0,2086846527	-0,0706658764	-0,0743748240	-0,0225708957	0,1954832969	0,0339243228
9	-0,1855288468	0,2386342655	0,0274012697	-0,3492633593	-0,0652816887	0,1814312481	-0,0137058234
10	-0,1737576067	0,2859939771	0,0975927493	-0,4898039551	-0,0088459129	-0,0215521643	0,0106689667
11	-0,1582070725	0,2886632151	0,1120228632	-0,2612225766	0,1382427230	-0,0799069675	0,0100522209
12	-0,0898346061	0,1113820706	0,1315759422	0,0922095037	0,1806419924	0,0289157486	-0,1360398988
13	0,1010727822	-0,1452536076	0,0596301016	0,0720934936	0,1604041448	0,0492857358	-0,3758877173
14	0,2716257412	-0,1827348284	-0,1676857063	-0,0519070226	0,1571382280	-0,1597373630	-0,3903462830
15	0,2048254541	0,0577943899	-0,2355998743	-0,0599300087	0,1921001040	-0,3738862731	-0,1050008186
16	-0,0208179219	0,2488621563	-0,0361419304	0,0193821611	0,1671534720	-0,2579583296	0,1433974645
17	-0,0758341877	0,1384106126	0,2479306526	0,1148605529	-0,0644064557	0,0229807695	0,1341225619
18	0,1293932968	-0,0922862215	0,2176753018	0,0546091523	-0,2237125261	0,1180328215	-0,0601613164
19	0,3005814116	-0,1264709892	-0,0634432641	-0,0394522592	-0,1085083842	0,0794660756	-0,1058747880
20	0,1996846720	0,0262661921	-0,1727039888	-0,0034475373	0,1385573767	-0,0861148384	0,0077250872
21	-0,0080030300	0,1075909962	-0,0354902424	0,0108863662	0,1671373324	-0,1570396275	0,0539814290
22	-0,0343566971	0,0308586753	0,1021509943	0,1024039343	-0,0644064557	-0,1822617633	-0,0458011695
23	0,0958058195	-0,0463133838	0,0509787553	0,0108560729	-0,2553595592	-0,1648312246	-0,1621825021
24	0,1580022389	-0,0221211183	-0,0008088349	-0,0279054916	-0,2222829818	-0,0568148245	-0,1433379153
25	0,0792746254	0,0234044640	-0,0428666066	-0,0841764415	-0,0638886745	0,0282808168	-0,0584621167



Tablo 15. 30. Dereceden FIR Filtre Katsayıları

$b_k$	GA	PSO	DE	ABC	BWO	SSA	HA
1	0,0994534958	-0,0787238280	0,0072648217	0,0234551141	0,1309013596	-0,0644922833	-0,0700058985
2	0,0858587908	-0,1259315901	0,0437724122	0,0872078094	0,1403243630	-0,1209643544	-0,0578446402
3	-0,0830544915	-0,1040796183	0,0088792187	0,0332143549	0,0455376353	-0,1602995491	0,0089295723
4	-0,2316039126	-0,0975519922	-0,0479736367	-0,0443601489	-0,1426924591	0,0262886770	0,0879000847
5	-0,1595784416	-0,1715862465	-0,0100477468	-0,0228390065	-0,1576674653	0,3027930212	0,1186204386
6	-0,0010414311	-0,2276825134	0,0029206271	0,1472936972	-0,0383936802	0,3117111635	0,1259303948
7	-0,0366812718	-0,1611450706	-0,0426269688	0,0380486082	0,1029398953	0,0094661394	0,1199277703
8	-0,2865699444	-0,0730995284	-0,0406445864	-0,0274405155	0,1403243630	-0,1270943318	0,0800792141
9	-0,4013550713	-0,1096917689	0,0605793768	-0,1238341562	0,1403243630	0,0766551053	0,0813009204
10	-0,2084760569	-0,1703292410	0,0654337602	-0,1334152814	0,0649051173	0,2268714053	0,1890955847
11	0,0673106053	-0,0257799909	0,0117813093	-0,0585673533	-0,0495742038	0,2749611499	0,2555397269
12	0,1624319274	0,2612732834	-0,0140204794	-0,0938242487	-0,0503807322	0,0555232387	0,2164399996
13	0,0922773238	0,3415359703	-0,0576542524	-0,1644879950	0,0933196251	0,0357568814	0,0728893348
14	0,0374539244	0,0830829841	-0,0369745803	-0,0442622587	0,2141080982	0,0451704224	-0,0279774836
15	0,0205792248	-0,2101541027	-0,1136188142	0,0571037643	0,1403247127	0,0033909555	-0,1025562409
16	-0,0484452416	-0,2202871234	-0,1471244680	-0,0087917657	0,0744810238	-0,1366360400	-0,2160468323
17	-0,1178795060	-0,0375311572	-0,0250597889	-0,2242350099	0,1029398953	-0,1515843157	-0,1923212705
18	-0,0861813960	0,0656805329	0,0613435314	-0,4699439638	0,2183168053	-0,0332019334	0,0153163008
19	0,0215267161	0,0329495353	0,0748202063	-0,2179593989	0,2078993737	0,0545600516	0,2229628803
20	0,0755075356	0,0048767139	0,1568703153	-0,0916668326	-0,0135646863	0,0480020910	0,1965480206
21	0,0370580160	0,0292878106	0,2344176856	0,0863652708	-0,1693874665	0,0271020423	-0,0347404991
22	0,0050496621	0,0288042004	0,3591150114	0,1132633213	-0,1024058913	0,0737030960	-0,1317700166
23	0,0062049995	-0,0108772303	0,1224013891	0,1356696898	-0,0135646863	0,0923428303	0,0454306362
24	-0,0052571324	-0,0207762963	-0,0789428726	0,0091069303	-0,0801817289	-0,0417444486	0,1541720977
25	-0,0433061537	0,0041779050	-0,1383417980	-0,0065537746	-0,1640611187	-0,1007351145	0,0611371735
26	-0,0425304145	0,0019808203	0,1128193870	0,1000484194	-0,0808392344	-0,0388326277	-0,1683887810
27	-0,0011214806	-0,0275665068	0,3276349123	0,0217975775	0,0700175990	-0,0835001159	-0,1335374895
28	0,0304732593	-0,0214928207	0,2182816086	-0,0274922116	0,1309013596	-0,0298473741	0,0546240475
29	0,0181862356	0,0216306235	-0,0581014203	-0,1038919440	0,0455376353	-0,0225107504	0,1300879680
30	-0,0056270055	0,0351239176	-0,0613942722	-0,1086958954	-0,0321837954	0,0342226911	0,0391742449

D		GA	PSO	DE	ABC	BWO	SSA	HA
5	Pr1	0,0593434466	0,0594024620	0,0595195287	0,0595195752	0,0594959773	0,0589625866	0,0594211081
	Pr2	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
	AS	39,5418904597	39,5446037865	39,5013035982	39,5013505962	39,6391940903	39,1266190403	39,5408317812
	Ep	9,7321221860	9,7291345810	9,6886666303	9,6886611929	9,6998874224	9,7976723871	9,7293565897
	Es	17,2509600841	17,2538709832	17,2942792289	17,2942847567	17,2885000418	17,2054134359	17,2536018617
	Et	0,0764470016	0,0764793119	0,0761666656	0,0761668305	0,0765843145	0,0756709266	0,0764870766
	Total Iter Time	595,0889216	601,2257538	1088,2517399	955,5287567	1168,2112419	1054,5631544	328,6004288
10	Pr1	0,0864501439	0,0896391510	0,0705766299	0,0864280029	0,0731385240	0,0740460425	0,1074763963
	Pr2	0,0598027936	0,0526520586	0,0701249029	0,0500631311	0,0953149584	0,0864287955	0,0786609936
	AS	48,5840422443	49,4923699892	56,3592805267	48,0882881403	48,8482745184	48,4460064153	52,3202771632
	Ep	5,8536577189	5,8242489230	5,8841515390	5,4936363123	8,3255973404	5,8546255799	8,0014373933
	Es	5,7039957557	5,7195837685	5,9981590321	6,2283007993	6,0240741443	6,4448625494	6,1291241838
	Et	0,0800412827	0,0818632112	0,0729899362	0,0840330300	0,0518801850	0,0755895661	0,0780433887
	Total Iter Time	585,2937285	599,7240904	1084,5020986	1123,2484986	1681,7931722	1073,4982447	323,1688785
15	Pr1	0,0223376644	0,0693940035	0,1470169178	0,0679887673	0,0247681135	0,0988219296	0,0660177127
	Pr2	0,0118643594	0,0208362155	0,0754536395	0,0000302875	0,1197731314	0,1074747511	0,0151820056
	AS	39,9888706194	47,6780982350	41,9677549058	45,9787710854	46,7433712331	44,1612382994	45,2780069664
	Ep	2,0740423547	3,1628445274	5,4043384182	3,0186045420	9,3630245426	6,0188895620	3,0788439456
	Es	6,7643667391	4,3008000062	3,4083329355	4,5818607118	2,9643344990	4,9277854981	4,7665198647
	Et	0,0793421284	0,0866637210	0,0753885478	0,0864330500	0,0454790765	0,0841650477	0,0860262526
	Total Iter Time	585,3298999	641,4800197	1095,0229301	1698,4634557	2442,2243558	1110,3831997	321,5911630
20	Pr1	0,0495188894	0,0858183169	0,1234478094	0,0563787576	0,0177516317	0,1475834064	0,0905162264
	Pr2	0,0228478972	0,0254855111	0,0654537894	0,0408536600	0,0995643288	0,0616873302	0,0488522043
	AS	51,8258960682	52,7273048624	57,2047510794	39,3834183136	41,6858055154	42,2693631621	49,6514388985
	Ep	2,7353646144	2,7230984622	2,9403986910	2,6027917894	2,8690624471	7,8515597761	2,9252163745
	Es	2,6593446985	2,4117994952	5,1060851393	6,0402229668	5,0417129531	3,1818827077	3,3216420579
	Et	0,0759525504	0,0839585100	0,0540928764	0,0861736408	0,0695270370	0,0695261338	0,0845561348
	Total Iter Time	585,0558253	636,2222970	1148,7272777	1573,9477310	2953,8590282	959,5629777	320,4762307
25	Pr1	0,0948134109	0,0596211256	0,2666441996	0,1966467378	0,1701888032	0,2245967716	0,1771288236
	Pr2	0,1017000359	0,0093514840	0,0212525270	0,0284621849	0,1528877793	0,1181256243	0,0361069301
	AS	51,6025573127	48,2108047009	38,0358126116	23,4010129179	52,0579935098	33,2488247266	50,4052165461
	Ep	3,5539673740	1,3696070453	9,4453527886	8,4807077662	10,9585575983	8,5330794749	6,0584071610
	Es	1,9110853448	2,2226798157	5,2054177414	24,4354141712	1,6666712939	7,5236565774	1,4554924932
	Et	0,0729452694	0,0850164352	0,1175301674	0,0838014325	0,0623978817	0,0522130450	0,0824674847
	Total Iter Time	583,8005445	632,4018260	825,4331076	1700,5690899	3731,0826947	1094,3049925	320,6292265
30	Pr1	0,0411372442	0,0514494478	0,1563796663	0,2487828526	0,1907146256	0,1756235735	0,1868355394
	Pr2	0,0412137438	0,0025963466	0,1064111606	0,0910056709	0,1749532563	0,0400919159	0,0213999405
	AS	49,7768308453	49,5106217299	24,7181545258	21,0697535023	35,4347131094	26,5297297272	32,4847624768
	Ep	1,6055146206	0,8594248735	8,5254196845	16,3285063100	14,4331364449	15,4863211510	4,2613872952
	Es	1,5935396278	1,5637156082	14,5932232155	31,9192644490	4,6517984840	14,9935958425	5,4057150421
	Et	0,0718046040	0,0844653825	0,0834938979	0,0879216954	0,0396341486	0,0698273400	0,0995580105
	Total Iter Time	584,4548374	600,0177770	661,7768563	1056,0331673	4211,5440303	1098,5108274	320,8809111

Tablo 16. En İyi Sonuçlar

5. Derece	PBMax Ripple	SSA
	PBMin Ripple	0
	AS	BWO
	PB Error	ABC
	SB Error	SSA
	TB Error	SSA
	Total Iter Time	HA
10. Derece	PBMax Ripple	DE
	PBMin Ripple	ABC
	AS	DE
	PB Error	ABC
	SB Error	GA
	TB Error	BWO
	Total Iter Time	HA
15. Derece	PBMax Ripple	GA
	PBMin Ripple	ABC
	AS	PSO
	PB Error	GA
	SB Error	BWO
	TB Error	BWO
	Total Iter Time	HA
20. Derece	PBMax Ripple	BWO
	PBMin Ripple	GA
	AS	DE
	PB Error	ABC
	SB Error	PSO
	TB Error	DE
	Total Iter Time	HA
25. Derece	PBMax Ripple	PSO
	PBMin Ripple	PSO
	AS	BWO
	PB Error	PSO
	SB Error	HA
	TB Error	SSA
	Total Iter Time	HA
30. Derece	PBMax Ripple	GA
	PBMin Ripple	PSO
	AS	GA
	PB Error	PSO
	SB Error	PSO
	TB Error	BWO
	Total Iter Time	HA

Tablo 17. En Kötü Sonuçlar

5. Derece	PBMax Ripple	ABC
	PBMin Ripple	0
	AS	SSA
	PB Error	SSA
	SB Error	ABC
	TB Error	BWO
	Total Iter Time	BWO
10. Derece	PBMax Ripple	HA
	PBMin Ripple	BWO
	AS	ABC
	PB Error	BWO
	SB Error	SSA
	TB Error	ABC
	Total Iter Time	BWO
15. Derece	PBMax Ripple	DE
	PBMin Ripple	BWO
	AS	GA
	PB Error	BWO
	SB Error	GA
	TB Error	PSO
	Total Iter Time	BWO
20. Derece	PBMax Ripple	SSA
	PBMin Ripple	BWO
	AS	ABC
	PB Error	SSA
	SB Error	ABC
	TB Error	ABC
	Total Iter Time	BWO
25. Derece	PBMax Ripple	DE
	PBMin Ripple	BWO
	AS	ABC
	PB Error	BWO
	SB Error	ABC
	TB Error	DE
	Total Iter Time	BWO
30. Derece	PBMax Ripple	ABC
	PBMin Ripple	BWO
	AS	ABC
	PB Error	ABC
	SB Error	ABC
	TB Error	HA
	Total Iter Time	BWO

#### 4. Filtre Uygulaması

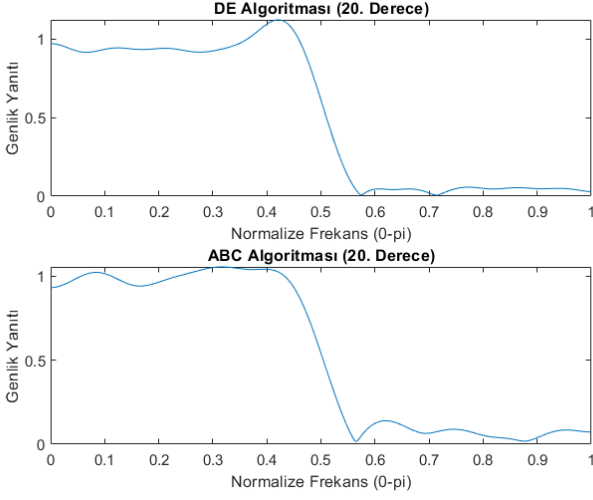
Literatürde yaygın olarak 20. dereceden FIR filtreler kullanılarak performansları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada da 20. dereceden normalize geçirme bandı frekansı 0.49 pi, normalize durdurma bandı frekansı 0.51 pi olan yukarıda bahsi geçen algoritmalarda en iyi ve en kötü durdurma bandı bastırma oranına sahip olan sırasıyla DE ve ABC algoritmaları kullanılarak filtre tasarlanmış ve sentetik sinyal üzerine uygulanmıştır. Sentetik sinyal 100,300 ve 450 hertz bileşenlerinden oluşmakta olup aşağıdaki kod bloğu kullanılarak tasarlanmıştır.

$F_s = 1000;$  % Örnekleme Frekansı  
 $T = 1/F_s;$  % Örnekleme Periyodu  
 $t=0:1/F_s:0.25;$  % Sinyal Uzunluğu  
 $f_1 = 100;$  % 1. Sinyal İçin Frekans  
 $f_2 = 300;$  % 2. Sinyal İçin Frekans  
 $f_3 = 450;$  % 3. Sinyal İçin Frekans

$data1 = \sin(2*\pi*f_1*t);$  % 1. Sinyal  
 $data2 = \sin(2*\pi*f_2*t);$  % 2. Sinyal  
 $data3 = \sin(2*\pi*f_3*t);$  % 3. Sinyal

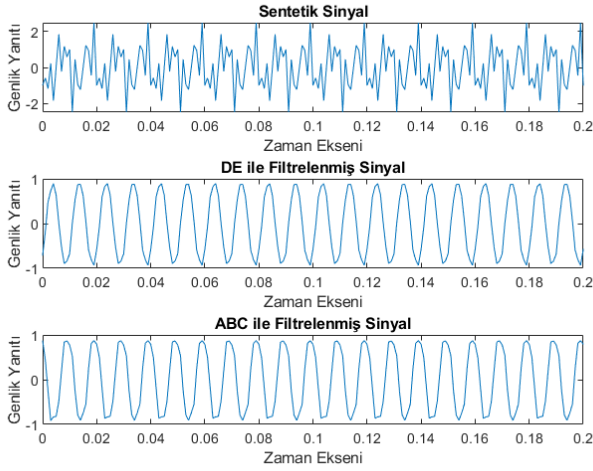
data=data1+data2+data3; % Sentetik Sinyal

20. dereceden normalize geçirme bandı frekansı  $0.49\pi$ , normalize durdurma bandı frekansı  $0.51\pi$  olan DE ve ABC algoritmaları ile elde edilen filtrelerin frekans yanıtları Şekil-9’ da verilmiştir.



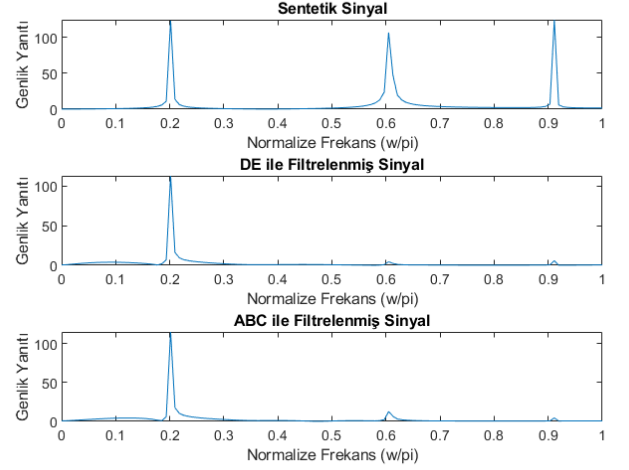
Şekil 9 20. Dereceden Filtre Frekans Yanıtı

Sentetik sinyalin DE ve ABC algoritması ile filtrelenmiş hallerinin genlik zaman grafiği Şekil-10’da verildiği üzeredir.



Şekil 10 DE ile Filtrelenmiş Sinyal

Bu sinyallere ait Hızlı Fourier Dönüşümü yapılarak elde edilen frekans-genlik spektrumu Şekil-11’de verilmiştir.



Şekil 11 DE ile Filtrelenmiş Sinyalin Fourier Dönüşümü

Şekil-11 görsel olarak incelendiğinde tasarımı yapılmış filtreye göre düşük frekans bileşenlerini geçirip, yüksek frekans bileşenlerini durdurması gereken filtrelerde durdurma bandı bastırma oranı “57,2047510794” olan DE algoritması daha iyi sonuç verirken durdurma bandı bastırma oranı “39,3834183136” olan ABC algoritması daha kötü sonuç vermiştir. Bu sonuçları değerlendirmeye yönelik sayısal performans analizi için aşağıda verilen kod bloğu ile sentetik sinyal ve filtrelenmiş sinyal durdurma bandı güç oranları, hesaplanarak Tablo-19’da verilmiştir.

```
y1=fft(data);
% Sentetik Sinyal FFT
y2=fft(filtered);
% Filtrelenmiş Sinyal FFT
p1=abs(y1(1:length(data)/2));
% Sentetik Sinyal durdurma bandı
p2=abs(y2(1:length(data)/2));
% Filtrelenmiş Sinyal durdurma bandı
p11=sum(p1(length(p1)/2:end).^2)/(length(p1)/2);
% Sentetik Sinyal durdurma bandı
p21=sum(p2(length(p2)/2:end).^2)/(length(p2)/2);
% Filtrelenmiş Sinyal durdurma bandı
Oran=20*log10(p11/p21);
% Durdurma bandı sinyal-gürültü oranı
```

Tablo 18 Performans Karşılaştırması

	DE	ABC
<b>Sinyal-Gürültü Oranı</b>	53.2203634514597	41.3640199537679

## 5. Tartışma

Bu çalışmada FIR filtre tasarımına yönelik metasezgisel algoritmalar kullanan bir yaklaşım önerilmiştir. Bu amaç doğrultusunda önerilen sistemin performansı PSO, DE, ABC, GA, HA, BWO, SSA algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Performans parametreleri olarak geçirme bandı maksimum dalgalanma miktarı, durdurma bandı minimum dalgalanma miktarı, desibel cinsinden durdurma bandı zayıflaması, geçirme bandı toplam hatası, durdurma bandı toplam hatası, geçiş bandı toplam hatası, toplam iterasyon süresi kullanılmıştır. Filtre derecesi 5’ten 30’a kadar değişen

derecelerde metasezgisel algoritmalarla gerçekleştirilen filtreler karşılaştırıldığında dereceye göre ve performans parametrelerine göre algoritmaların başarısının değiştiği Tablo-17 ve Tablo-18'den de görülmektedir. Bu nedenle önerilen yaklaşımla en iyi filtre tasarımına ait metasezgisel algoritmanın hangisinin en iyi olduğunu söylemek mümkün değildir. Çalışmanın ikinci aşamasında örnek olarak tasarlanan 20. dereceden filtrelerin performansı sentetik bir sinyal üzerinde analiz edilmiştir. En iyi ve en kötü duruma göre karşılaştırılma yapıldığında başarılı bir filtre tasarımında Tablo-19'da görüldüğü gibi SNR oranında önemli farklılıklar bulunmaktadır.

İleriki çalışmalarda ortaya konan bu filtre tasarımına ait yöntem ile iki boyutlu filtrelerin tasarımı planlanmaktadır. Önerilen yaklaşımın farklı sinyal uygulamalarında ve görüntü analizinde kullanılabileceği görülmektedir.

## Kaynakça

- Aggarwal, A., Rawat, T. K. & Upadhyay, D. K. (2016). Design of optimal digital FIR filters using evolutionary and swarm optimization techniques. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 70(4), 373–385. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2015.12.012>
- Bose, D., Biswas, S., Vasilakos, A. V. & Laha, S. (2014). Optimal filter design using an improved artificial bee colony algorithm. *Information Sciences*, 281, 443–461. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.05.033>
- Chen, S. & Luk, B. L. (2010). Digital IIR filter design using particle swarm optimisation. *International Journal of Modelling, Identification and Control*, 9(4), 327–335.
- Clerc, M. & Kennedy, J. (2002). The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(1), 58–73.
- Geem, Z. W., Kim, J. H. & Loganathan, G. V. (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *Simulation*, 76(2), 60–68.
- Gupta, L. & Mehra, R. (2011). Modified PSO based Adaptive IIR Filter Design for System Identification on FPGA. *International Journal of Computer Applications*, 22(5), 1–7. <https://doi.org/10.5120/2583-3569>
- Hayyolalam, V. & Pourhaji Kazem, A. A. (2020). Black Widow Optimization Algorithm: A novel meta-heuristic approach for solving engineering optimization problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 87(July 2019), 103249. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103249>
- Holland, J. H. & others. (1992). *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. MIT press.
- Jain, M., Singh, V. & Rani, A. (2019). A novel nature-inspired algorithm for optimization: Squirrel search algorithm. *Swarm and Evolutionary Computation*, 44(November 2017), 148–175. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2018.02.013>
- Jarraya, B. & Bouri, A. (2012). Metaheuristic Optimization Backgrounds: A Literature Review. *International Journal of Contemporary Business Studies*, 3(12), 2156–2506. <http://www.akpinsight.webs.com>
- Karaboga, D. (2005). *An idea based on honey bee swarm for numerical optimization*.
- Karaboga, N. (2005). Digital IIR filter design using differential evolution algorithm. *Eurasip Journal on Applied Signal Processing*, 2005(8), 1269–1276. <https://doi.org/10.1155/ASP.2005.1269>
- Karaboga, N. (2009). A new design method based on artificial bee colony algorithm for digital IIR filters. *Journal of the Franklin Institute*, 346(4), 328–348. <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2008.11.003>
- Karaboga, N. & Cetinkaya, B. (2004). Design of minimum phase digital IIR filters by using genetic algorithm. *Report - Helsinki University of Technology, Signal Processing Laboratory*, 46, 29–32.
- Karaboga, N. & Cetinkaya, B. (2006). Design of digital FIR filters using differential evolution algorithm. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 25(5), 649–660. <https://doi.org/10.1007/s00034-005-0721-7>
- Karaboğa, N. & Çetinkaya, M. B. (2011). A novel and efficient algorithm for adaptive filtering: Artificial bee colony algorithm. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 19(1), 175–190. <https://doi.org/10.3906/elk-0912-344>
- Karakaş, M. F. & Latifoğlu, F. (2020). Finite Impulse Response Filter Design Using Squirrel Search Algorithm. *2020 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO)*, 1–4.
- Kaya, T. & İnce, M. C. (2011). *Genetik Algoritma Yardımıyla Elde Edilen Yüksek Performanslı Pencere Fonksiyonlarının Yinelemesiz Sayısal Filtre Tasarımında Kullanımı*. May, 16–18.
- Kumar, A., Subhojit, D. & Londhe, N. D. (2017). Low-Power FIR Filter Design Using Hybrid Artificial Bee Colony Algorithm with Experimental Validation Over FPGA. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 36(1), 156–180. <https://doi.org/10.1007/s00034-016-0297-4>
- Kumar, S. & others. (2021). Review And Analysis Of Optimization Algorithms For Digital Filter Design. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(7), 1798–1806.
- Latifoğlu, F. (2020). A novel singular spectrum analysis-based multi-objective approach for optimal FIR filter design using artificial bee colony algorithm. *Neural Computing and Applications*, 32(17), 13323–13341. <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04680-1>
- Latifoğlu, F. (2013). A novel approach to speckle noise filtering based on Artificial Bee Colony algorithm: An ultrasound image application. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 111(3), 561–569. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.05.009>
- Litwin, L. (2000). FIR and IIR digital filters. *IEEE Potentials*, 19(4), 28–31.
- Manuel, M. & Elias, E. (2012). Design of Sharp 2D Multiplier-Less Circularly Symmetric FIR Filter Using Harmony Search Algorithm and Frequency Transformation. *Journal of Signal and Information Processing*, 03(03), 344–351. <https://doi.org/10.4236/jsip.2012.33044>
- Nagasirisha, B. & Prasad, V. (2020). Noise Removal from EMG Signal Using Adaptive Enhanced Squirrel Search Algorithm. *Fluctuation and Noise Letters*, 19(04), 2050039.
- Najjarzadeh, M. & Ayatollahi, A. (2008). A comparison between genetic algorithm and PSO for linear phase fir digital filter design. *International Conference on Signal Processing Proceedings, ICSP*, 2134–2137.

- <https://doi.org/10.1109/ICOSP.2008.4697568>
- Oppenheim, A. V. (1999). *Discrete-time signal processing*. Pearson Education India.
- Parks, T. W. & Burrus, C. S. (1987). *Digital filter design*. Wiley-Interscience.
- Proakis, J. G. (2001). *Digital signal processing: principles algorithms and applications*. Pearson Education India.
- Reddy, K. S. & Sahoo, S. K. (2015). An approach for FIR filter coefficient optimization using differential evolution algorithm. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 69(1), 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2014.07.019>
- Saha, S. K., Dutta, R., Choudhury, R., Kar, R., Mandal, D. & Ghoshal, S. P. (2013). Efficient and accurate optimal linear phase FIR filter design using opposition-based harmony search algorithm. *The Scientific World Journal*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/320489>
- Saha, S. K., Kar, R., Mandal, D. & Ghoshal, S. P. (2014). Harmony search algorithm for infinite impulse response system identification. *Computers and Electrical Engineering*, 40(4), 1265–1285. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2013.12.016>
- Saranghi, S. K., Panda, R. & Abraham, A. (2020). Design of optimal low-pass filter by a new Levy swallow swarm algorithm. *Soft Computing*, 24(23), 18113–18128. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05065-6>
- Shao, P., Wu, Z., Zhou, X. & Tran, D. C. (2017). FIR digital filter design using improved particle swarm optimization based on refraction principle. In *Soft Computing* (Vol. 21, Issue 10, pp. 2631–2642). <https://doi.org/10.1007/s00500-015-1963-3>
- Storn, R. & Price, K. (1997). Differential evolution--a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*, 11(4), 341–359.
- Zhang, G., Gu, Y., Hu, L. & Jin, W. (2003). A novel genetic algorithm and its application to digital filter design. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 2, 1600–1605. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2003.1252754>





# Analysis of Different Regression Algorithms for the Estimate of Energy Consumption

Halit Çetiner<sup>1\*</sup>, İbrahim Çetiner<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical Sciences, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7794-2555), [halitcetiner@isparta.edu.tr](mailto:halitcetiner@isparta.edu.tr)

<sup>2</sup> Mehmet Akif Ersoy University, Vocational School of Technical Sciences, Burdur, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1635-6461), [ctiner51@gmail.com](mailto:ctiner51@gmail.com)

(First received 10 July 2021 and in final form 15 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.969539)

**ATIF/REFERENCE:** Çetiner, H., Çetiner, İ. (2021). Analysis of Different Regression Algorithms for the Estimate of Energy Consumption. *European Journal of Science and Technology*, (31), 23-33.

## Abstract

Due to the increasing population, a great increase is observed in the number of different centers such as art, entertainment, and industry. The number of such centers is increasing day by day. These areas are naturally the centers where energy is needed at a high rate. Energy consumption data in the specified areas are increasing day by day. At this point, it has become a difficult problem to meet energy needs in all areas where people live and need energy, in addition to the mentioned centers. To eliminate this difficult problem, it has become a necessity to both meet the energy consumption and ensure the effective use of energy. It is observed that there is an increase in artificial intelligence supported housing systems consisting of electronic devices in order to minimize energy consumption in shelters and residences. Taking into account the increase in environmental factors such as global warming, greenhouse gas emissions, carbon dioxide, chemical solvents, and radiation, studies on the efficient use of energy should be increased. In line with the stated objectives and purposes, the data of the United States regional communications organization PJM Interconnection LLC (PJM) named Dominion Virginia Power (DOM) have been used. This dataset shows the hourly data consumption in Mega Watts of the Asian region. On this dataset, the energy estimation results of the recently popular XGBoost, LSTM algorithms, classical linear regression and RANSAC algorithms were compared.

**Keywords:** LSTM, XGBoost, RANSAC, Linear regression, energy consumption.

## Enerji Tüketim Tahmini için Farklı Regresyon Algoritmalarının Analizi

### Öz

Artan nüfusa bağlı olarak sanat, eğlence ve sanayi gibi farklı merkezlerin sayısında büyük bir artış gözlenmektedir. Bu gibi merkezlerin sayıları her geçen gün artmaktadır. Bu alanlar ise doğal olarak enerjiye yüksek oranda ihtiyaç duyulan merkezlerdir. Belirtilen alanlarda enerji tüketim verileri her geçen gün artış göstermektedir. Bu noktada sözü edilen merkezlerin yanı sıra insanların yaşadığı ve enerjiye ihtiyaç duyduğu tüm alanlarda enerji ihtiyacının karşılanması zor bir sorun haline gelmiştir. Bu zor problemi ortadan kaldırabilmek için hem enerji tüketimini karşılamak hem de enerjinin etkili kullanılmasını sağlamak bir zorunluluk olmuştur. Sığınak ve konutlarda enerji tüketimini en aza indirmek için elektronik cihazlardan oluşan yapay zeka destekli konut sistemlerinde artış olduğu gözlenmektedir. Küresel ısınma, sera gazı emisyonları, karbondioksit, kimyasal çözücüler, radyasyon gibi çevresel faktörlerin artması göz önüne alındığında, enerjinin verimli kullanımına yönelik çalışmaların mutlaka artırılması gerekmektedir. Belirtilen amaç ve amaçlar doğrultusunda Amerika Birleşik Devletleri bölgesel iletişim kuruluşu PJM Interconnection LLC'nin (PJM) Dominion Virginia Power (DOM) adlı verileri kullanılmıştır. Bu veri seti, Asya bölgesinin Mega Watt cinsinden saatlik veri tüketimini göstermektedir. Bu veri seti üzerinde son zamanlarda popüler olan XGBoost, LSTM algoritmaları, klasik Lineer regresyon ve RANSAC algoritmalarına ait enerji tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** LSTM, XGBoost, RANSAC, Doğrusal regresyon, enerji tüketimi.

\* Corresponding Author: [halitcetiner@isparta.edu.tr](mailto:halitcetiner@isparta.edu.tr)

## 1. Introduction

The world population is increasing rapidly. Looking at the literature researches in recent years, it is expected that the world population will approach 10 billion towards 2040 or 2050. (Bahar et al. 2020). One of the main issues that a population increase of this magnitude makes us think about is how energy consumption will change. Consumption will increase as the energy demand increases, depending on the population. According to (Günay 2016), it is not sufficient to explain the increase in energy consumption only by population growth over the years. To understand the relationship between energy consumption data according to (Li 2019) and the factors that affect them, there is a disagreement about whether to use regression analysis or perform analyses over time series. In the studies, it has been observed that estimating the energy consumption from the data collected regularly at certain time intervals gives better results than the regression methods. This result, which was determined, presented a research that allowed the use of time series in the study. It is estimated that two-thirds of the world's population will live in urban areas away from rural areas in the next 30 years (Bahar et al. 2020). Considering that a population the size of the largest city of a country like China is added to the world population every four months, this reveals the true face of population growth.

Despite the stated population growth, it is getting more and more difficult to meet the energy demand by reducing harmful emissions such as CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>. It is reported that the emission values of two years ago exceeded 45% of the emission values of twenty years ago worldwide (Bahar et al. 2020). It is obvious that all kinds of energy, including clean electricity, will be needed more in the coming years for the reasons stated. Electricity demand is expected to double compared to previous years. In order to meet the energy demand by reducing the harmful emissions resulting from the increasing energy consumption due to the increasing population, clean energy production supported by accurate, conscious and smart systems is required. When history is examined backward, it is seen that human beings have developed structures that are far from environmental effects to lead a more comfortable and easy life. The construction of these structures has been going on for centuries. Although people give these buildings different names such as workplace, office, house, student house, holiday home, their main task is to ensure that people live and work away from all kinds of influence unique to them. Due to the reasons stated, a large part of human life is spent in the specified buildings or residences. It is necessary to increase energy efficiency and reduce energy consumption in homes where this much time has passed. (García et al. 2021), evaluates people consuming energy in three different categories. In the first category, there are people who continue their normal consumption during their inactivity. The second category includes people who significantly reduce their consumption during the period of inactivity and continue to reduce their consumption after the restriction. The third category represents the group of people who reduced their consumption during the restriction period and increased their consumption after the restriction. When study (García et al. 2021) is examined, it is seen that the most accurate analysis results are obtained by analysing hourly energy consumption. Similar to this study, there are also studies that want to reduce the energy consumption in shelters and eliminate the disposal of harmful wastes to the environment (Guo et al. 2021).

It is becoming more and more important every year to abandon the production of classical buildings and to create scientifically based low energy-consuming houses and shelters. It is seen that studies are carried out by applying high investments in line with the goals and objectives stated in different parts of the world. They conducted studies investigating the impact of renewable energy consumption on reducing air pollution in Latin America over a long period from 1990 to 2016 (Koengkan, Fuinhas, and Silva 2021).

(Moreno et al. 2014) describes the work they developed for energy saving. In their study, they tried to determine which parameters should be taken into account by building designers in order to reduce energy consumption. As a result of their studies on effective energy use, they revealed that human life is closely related to energy consumption. They tried to identify the most relevant parameters that need to be controlled for efficient energy use. Environmental changes may be effective in determining the relationship between the correct and conscious use of energy in homes and human energy consumption time. It is stated that global changes due to environmental changes are the result of incorrect energy use. Climate change is said to have become a global problem due to environmental changes (Change 2014). It is stated that global warming due to environmental changes will disrupt floods, droughts, and food production. For this reason, it is stated that people can migrate to safer areas as a temporary solution. However, there is no guarantee that this problem will not occur in the target region. Exposure to excessive and irregular heat waves beyond what is normally expected can impair human health. Furthermore, it causes diseases to spread very quickly (Enn 2015).

According to (Change 2014), energy production accounts for a quarter of the total worldwide emissions value. This rate shows that the necessity of efficient, conscious, accurate and technology-supported energy consumption to be sustainable is becoming more important day by day. Academic studies are needed to prevent the extra energy use of all energy-consuming devices. One of the main purposes of studies such as estimating and classifying energy consumption data in buildings or shelters is to significantly improve residential performance, reduce harmful effects outside the living space, and guide people to more conscious energy consumption.

The contributions of this study, which was made for the purpose of energy consumption estimation, to the literature are presented below, respectively.

- It is an application of data normalization since the energy consumption data is a large data set.
- XGBoost, Linear regression and RANSAC algorithms were run on both normalized and normal raw data in order to accurately interpret the effect of data normalization on energy consumption estimation.
- Performance measurement results obtained as a result of experimental studies on both normalized and normal raw data are given comparatively according to the traditional criteria R<sup>2</sup> score, MSE, RMSE, MAE, MAPE.
- When the results are examined, the highest test success rate on normal raw data is 0.67 R<sup>2</sup> score. In the normalized data set, it is seen that a success rate of 0.9738 was obtained. This rate is quite high compared to the results obtained on normal raw data.



The remainder of the article is planned as follows. In the second chapter, similar studies in the literature are given. In the third chapter, the data set used and the methods by which we analysed this data set are explained. In the fourth chapter, the results obtained as a result of the experimental analysis studies are given. The results are discussed in the last section. Furthermore, information was given on the projects to be realized in the future based on this study.

## **2. Related Works**

Predicting future energy consumption in shelters and residences is important for the correct use of energy and for governments to make energy planning. Developing effective and efficient energy consumption forecasting models is valuable for energy planning. For this reason, it is important for researchers to examine the data expressed as time series containing hourly energy data using statistical or machine learning techniques. It is not sufficient to examine time series data alone. It also needs to be examined quickly, accurately and effectively. It is seen that there are different studies in the literature that present a comprehensive analysis of energy consumption data consisting of time series (Deb et al. 2017). In the mentioned article, it is mentioned that time series should not be evaluated within a single time, but backwards with other time units (Deb et al. 2017). In this study, XGBoost, LSTM, RANSAC, Linear algorithms, which have gained popularity in recent years, apart from algorithms such as SVM and ANN that analyze popularly used time series data, are used. In the studies in the literature, it is seen that analyzes are carried out on the energy data on a regional, country basis or in a single research center. When the literature summaries are examined, it is seen that data sets consisting of time series collected at certain time intervals are used in the analysis (Bhati, Hansen, and Chan 2017) are looking for ways to reduce energy consumption in residences in Singapore. (Moletsane et al. 2018) analyzed the energy consumption data from a house controlled by more than one electronic system using linear regression method. These data include data on energy consumption between 2014 and 2016 within the scope of the housing project controlled by electronic systems. A linear regression model was used to analyze these consumption data. (Arghira et al. 2012) attempts to estimate the energy consumption of different appliances in the house. It describes a method that tries to estimate the next day's electricity consumption based on today's electricity consumption. (Edwards, New, and Parker 2012) analyzed hourly energy consumption data with seven different machine learning algorithms. It has been tried to determine which of the seven different algorithms used to estimate the energy consumed at a future date is the most successful. (Lü et al. 2015) offer a new methodology to solve the problem of inhomogeneity in energy modeling of houses. This method proposed a physical and statistical-based mathematical approach to generate homogeneity to improve prediction accuracy. (O'Neill and O'Neill 2016) developed a segmented model to determine residential energy performance. (Roldán-Blay et al. 2013) tried to estimate energy consumption data with an artificial neural network using an hourly data set.

(Bagnasco et al. 2015) tries to estimate the energy consumption of a medical clinic. They model this prediction process using an artificial neural network. It tried to estimate the electricity consumption by using the data in the attribute table

created with the day definitions such as time of day, weekend, and holiday. (Antanasijević et al. 2015) propose a new neural network-based approach that predicts the relationship between harmful greenhouse gas emissions and energy consumption. (Jung, Kim, and Heo 2015) developed a least squares support vector machine to determine the energy consumed daily. (Protić, Fathurrahman, and Raos 2019) developed a mathematical model to determine future energy consumption based on energy data used in the Republic of Serbia. These developed models are compared with the artificial neural network model. (Li 2019), states that there is a close relationship between economic development, population, industrial relations, and energy consumption. It has been determined that many researchers use regression method to solve the relationship between these variables and energy consumption. In their study, they tried to predict the energy density of China using an LSTM-based neural network model based on both research groups. As a result of the experimental studies they carried out, it was concluded that the estimation results using the time series were much more successful than the other regression analysis. (Ilbeigi, Ghomeishi, and Dehghanbanadaki 2020) tried to develop a method to reduce energy consumption in houses and shelters. For this, a new residence suitable for research was designed. Input parameters used in energy consumption in this house have been determined. Monthly electricity consumption bills were collected for one year in the input parameters. These determined parameters were tested to be trained and tested using the multilayer artificial neural network model. It is reported that when creating a model in artificial neural networks, 70% of the data set is divided into training, 15% validation, and 15% testing. It is stated that the increase in the number of people living in houses and shelters increases the demand for energy. They concluded that the most effective factor after the number of occupants is the thickness of the outer wall of the house. These two factors declare that they are the most influential factors in energy consumption.

## **3. Material and Method**

In this study, energy consumption data recorded at equal time intervals are used. Regular recording of energy consumption data at certain time intervals is called a time series. According to (Deb et al. 2017), the time series consists of two different categories. In the first category, it focuses on how time series are formed, their structure, and ground state. In the second category, it focuses on the kind of meaning it will make on the data obtained for the future. Time series analysis is used in many different areas from the change in the amount of diesel use during the epidemic to the population planning of the countries. It is known that there has been an increase in studies on monitoring, tracking and estimating energy consumption data in houses and shelters recently. Consistent with this information, energy consumption time series data from an eastern state region in the USA will be used in the study. The dataset consists of two columns. The first column contains date and time information and the second column contains the energy consumed. Although the data until January 2006 and 2015 were used as training data, the rest of the data were used as test data. After the training data are trained with different regression algorithms, it will be tested to be estimated on the test data that have never been seen before. The training and test data segments are shown in Figure 1.

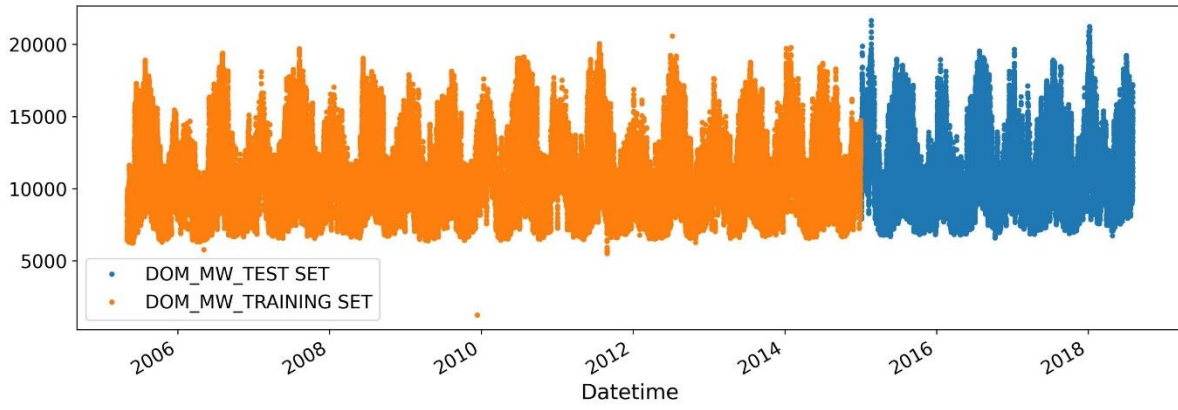


Figure 1. DOM MW training and test set

Features directly affect results in estimation and classification problems. For this reason, detailed time information extracted from raw data is used as an attribute in this article, since it provides a detailed detail about energy consumption. Table I shows 4 representative examples of the data set consisting of the

mentioned time information and energy consumption data, from the data it starts to the data it ends.

Table I. Features used in energy consumption estimation

Datetime	Hour	Day of week	Quarter	Month	Year	Day of year	Day of month	Week of year	DOM_MW
2005-12-31 01:00:00	1	5	4	12	2005	365	31	52	9389
2005-12-31 02:00:00	2	5	4	12	2005	365	31	52	9070
....	...	...	....	...	...	....	....	...	...
2018-08-02 23:00:00	23	3	3	8	2018	214	2	31	12390
2018-08-02 23:00:00	23	3	3	8	2018	214	2	31	11385

In the first experimental studies, using XGBoost, RANSAC (Random Sample Consensus), Linear regression methods, eight different attributes such as day of the week, day of the month, day of the year were extracted from the date data of the first column and analyzed without any normalization function. Second, in experimental studies, the same data set was normalized using XGBoost, RANSAC, linear regression methods, and LSTM time series deep learning algorithms. Only the original data were used in the normalized data set. Unlike the first, the dataset used was not expanded by extracting features from the original data. In order to show the accuracy of the studies in the studies, the  $R^2$  value is calculated to measure the relationship between the consumption result obtained by the algorithm and the actually consumed consumption result.

The energy data estimated in this way are compared with the actual energy consumed. In this comparison, the  $R^2$  value is necessary to understand the relationship between the specified parameters. It is known that  $R^2$  values, which get a result close to 1, have a great meaning in showing the relationship between them. For these reasons, the  $R^2$  scoring value was used to compare the results of the used algorithms.

### 3.1. The Random Sample Consensus (RANSAC)

It is an algorithm put forward by the RANSAC algorithm (Fischler and Bolles 1981). It is a computational approach that deals with extreme values in input data. The RANSAC algorithm, which is used as a general estimation approach, is used to accurately predict the selected model parameters. It is a method that provides predictive solutions using the minimum number of data regions needed to predict certain model parameters. The most distinctive feature of this method is that it uses as much data as possible to obtain initial recommendations. After obtaining the initial suggestions, it creates a prediction set with consistent data structures by removing the extreme values.

$$1 - p = (1 - \mu^m)^N \quad (1)$$

In Equation (1),  $m$  shows the least number of points in the process repeated  $N$  times.  $\mu$  represents the probability that any data region is the beginning.  $v = 1 - \mu$  represents the probability of following an outlier (Derpanis 2010). The number of  $N$  iterations shown in Equation (2) must be high enough to ensure that the probability  $p$  is that one of the randomly generated sample sets is not outlier (Derpanis 2010).

$$N = \frac{\log(1 - p)}{\log(1 - (1 - v)^m)} \quad (2)$$

### 3.2. XGBoost

XGBoost is a method introduced by (Chen and Guestrin 2016). It is a method of transforming the weak into the strong in scalable learning based on the method named Gradient boosting machine (Friedman 2002; Zhou et al. 2019). While performing these, machine learning methods have features such as excessive learning, increasing the predictive power, fast processing power and managing empty data. Additionally, XGBoost prioritizes tree depth (Mitchell and Frank 2017). In the first step of the algorithm's operation, a certain value is created. The error value resulting from the operations is determined by looking at the difference between the actual value in the data set and the value as a result of the operations. Afterwards, similarity scores are calculated for each branch in the prediction trees. In this way, it is tried to find the best estimation result among the tree branches. After the best and strongest ones are determined, pruning is performed on weak branches. In the pruning process, a value called gamma should be selected. The gamma value is used in pruning as the threshold value. Weak branches in trees are destroyed according to the specified threshold value. Increasing the defined threshold value ensures that only the strongest branches remain in the tree and prevents overfitting. As the  $\lambda$  value increases, the similarity score calculated in the branches decreases. There is an inverse relationship between the value of  $\lambda$  and overfitting. As one increases, the other decreases. A high value of  $\lambda$  means that there must be many cycles to make the correct prediction. Cyclic operations mean that the operations will continue until the error reaches a certain value or a specified tree number criterion.

XGBoost partitions each value in the dataset. It works according to partitions. As the number of partitions increases, it will look at the smaller sub-partitions, resulting in better predictive results. Since this will increase the computational cost, the learning process will increase. In machine learning techniques, empty data in the data set is filled or the fields with empty data are removed from the data set. XGBoost algorithm can work with null values. Initially, the error values obtained using the default predictive value are assigned to the blank data. In the next assignment, the blank data is placed in all different branches and the earnings score is created. In which case the score is high, null values are placed in those branches.

$$\mathcal{L} = \sum_{i=1}^N l(y_i, \hat{y}_i) + \sum_k \Omega(k) \quad (3)$$

In equation (3), a general loss function is defined to measure the difference between the actual value  $y_i$  and the predicted value  $\hat{y}_i$  for each sample  $i$  of the first term  $l$  (Hu et al. 2021). One of the evaluation functions used in this study is the mean square error. The  $\Omega$  symbol represents the task of scoring and adjusting the complexity of each model.

$$\Omega(k) = \gamma.T + \frac{1}{2}\lambda \sum_{j=1}^T w_j^2 \quad (4)$$

In Equation (4),  $T$  shows the number of leaves found in decision trees.  $w_j$  represents the point value of each  $j$  tree leaf.  $\gamma$  and  $\lambda$  are the variables used to put the penalty score on a certain scale.

$$\hat{y}_i^{(t)} = \hat{y}_i^{(t-1)} + q_t(x_i) \quad (5)$$

In Equation (5), the output of the  $i_{th}$  tree in the  $t_{th}$  loop is represented by  $\hat{y}_i^{(t)}$ .  $q_t$  is the sample to be added in the  $t_{th}$  loop. The specified optimization-based algorithm is transformed into a target function by Equation (6).

$$\mathcal{L}^{(t)} = \sum_{i=1}^N l(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)} + q_t(x_i)) + \gamma.T + \frac{1}{2}\lambda \sum_{j=1}^T w_j^2 \quad (6)$$

Then, as shown in Equation (7), a second-order Taylor expansion is performed in order to get closer to the target function and to make the optimization process easier.

$$\mathcal{L}^{(t)} \approx \sum_{i=1}^N \left[ l(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)}) + g_i q_t(x_i) + \frac{1}{2} h_i q_t^2(x_i) \right] + \gamma.T + \frac{1}{2}\lambda \sum_{j=1}^T w_j^2 \quad (7)$$

In equation (7),  $g_i$  and  $h_i$  are used to represent the first and second order derivatives of the objective objective function. When the  $(t - 1)$  loop is complete,  $l(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)})$  is expressed as a fixed. This constant can be considered absent during optimization.

$$\hat{\mathcal{L}}^{(t)} = \sum_{j=1}^T \left[ \left( \sum_{i \in I_j} g_i \right) w_j + \frac{1}{2} \left( \sum_{i \in I_j} h_i + \lambda \right) w_j^2 \right] + \gamma.T \quad (8)$$

In Equation (8)  $I_j$  shows that the sample set corresponding to  $j$  in the tree leaf node. In this equation, each sample is rewritten to correspond to each tree leaf node. In this way, the optimization of the targeted objective function is converted to a quadratic equation (Hu et al. 2021). At the same time, this function creates a decision tree. The depth dimension of each tree is defined by defining a certain threshold value. With the feature added to this function, the excessive compatibility problem is overcome.

### 3.3. Linear Regression

The XGBoost algorithm does not have the feature of filling the empty data with error. According to the XGBoost algorithm, it is an algorithm based on history. Linear regression is a linear model that represents the linear relationship between a single input parameter (x) and a single output parameter (y). The result of the input variable y can be calculated using a linear model of (x) values. As in Equation (9), the linear regression formula can be created simply by adding the bias coefficients.

$$y = B_0 + B_1 * x \quad (9)$$

### 3.4. LSTM (Long Short Term Memory)

Recurrent neural networks (RNN) are basically defined as neural networks that use information from the previous step to a forward transition process (Ketkar and Santana 2017). When applied to data forms where the input data is in the form of a time series, success values can be high. However, it loses a lot of success due to the fact that the data can be kept for a short time.

If the time series we want to process consists of long data, it will be difficult to carry information while each long data in these series is transferred to the next step. For this reason, RNN algorithms can cause data loss in the processing of long-dimensional data. Weights need to be updated in any neural network during training. This weight update must also be done backwards by gradients. It is undesirable for the gradient values updating the weights to get too close to zero during this process. When these values are close to zero, the learning rate may be insufficient. When the gradient value of the RNN algorithm approaches zero, it finishes the learning process and forgets the data in longer sequences and creates short-term memories.

Long short-term memory (LSTM) is defined as a customized version of the repetitive neural network model RNN (Li 2019). RNN and LSTM can be defined as an extension or extension of the classical artificial neural network model. While deep neural network models have thousands of hidden neural network layers, classical neural networks have no more than a few hidden neural network layers.

LSTM structures have structures called memory blocks in repetitive layers to solve the problem of error values that suddenly reset or become excessively high during training (Wang, Du, and Wang 2020). Figure 1 shows the block diagram of special units called memory blocks. There are three different gates in the LSTM method, which is proposed to eliminate the deficiencies in the RNN method. Doors with collision feature that temporarily save sequences are shown in Figure 1. Doors are structures with Forget, Input and Output tasks respectively. At the forget gate, it controls which information will be protected and which information will be destroyed. Information from hidden states and other input data is given as input to the activation function. Normalization of the data given as input to a value between 0 and 1 is provided. Here, if the value is close to 0, it semantically indicates that this data should be forgotten. In the other case, if the data value is close to 1, it means data protection. At the entrance gate, the previous hidden state and input data are inserted into the sigmoid activation function to update the cell state. As with the forget gate, the output values close to 1 means that the data is important. In addition, data is then transmitted to the tanh activation function as a hidden state and input. In this way, it is ensured that the network is organized. Then, the first activation output is multiplied by the tanh activation output. The sigmoid output values decide what information is important to retain from the tanh activation function output. The output gate checks for hidden states containing information about previous inputs. As with other gates, the previous hidden state and input values are inserted into the sigmoid function. Afterwards, the updated hidden state becomes an input to the tanh activation function, as in other gates. The tanh output is multiplied by the sigmoid output to detect important information which information is to be protected. The result obtained is defined as the latent state (Wang, Du, and Wang 2020).

The sigmoid function used in the gates is shown in Equation 10.

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (10)$$

In Equation (11), (13) and (15),  $i_t, f_t, o_t$  represent the input, forget and output gates, respectively. The  $\tilde{C}_t$  in Equation (12) is the intermediate value used during the calculation.

$$i_t = \sigma(W_i X_t + U_i h_{t-1} + b_i) \quad (11)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_z X_t + U_z h_{t-1} + b_z) \quad (12)$$

$$f_t = \sigma(W_f X_t + U_f h_{t-1} + b_f) \quad (13)$$

$$C_t = i_t * \tilde{C}_t + f_t * C_{t-1} \quad (14)$$

$$o_t = \sigma(W_o X_t + U_o h_{t-1} + b_o) \quad (15)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (16)$$

$W_i, U_i, W_z, U_z, W_f, U_f, W_o$  and  $U_o$  expressions in Equations (11), (12), (13), (15), respectively, indicate weight matrices, and  $b_i, b_z, b_f$  and  $b_o$  represent bias vectors.  $h_t$  in Equation (16) and  $h_{t-1}$  in Equation (11), (12), (13) and (15) are output values at previous time  $t$  and  $t - 1$ , respectively. The hyperbolic tangent function used in LSTM gates is shown in Equation (17).

$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (17)$$

A Dropout layer is successively added to each LSTM layer. This layer helps to prevent the undesirable overfitting by ignoring randomly selected neurons during training. Thus, memorization due to excessive learning in neurons is prevented.

## 4. Experiment Results

Using the settings given in Table II, the LSTM algorithm was run on both the training and test datasets on the normalized data.

Table II. LSTM setting parameters

Parameter	Value
Layers	3
Loss	Mean squared error
Optimizer	Adam
Epochs	7
Batch size	56
Activation	ReLU

$$x_{new} = \frac{x - x_{min}}{x - x_{max}} \quad (18)$$

Figure 3 shows not normalized data. Normalization is rescaling the data in the original range so that all values are in the new range of 0 and 1. All obtained features are scaled to the range of 0-1 using Equation (18) in the normalization process. Normalization allows us to know or accurately predict the minimum and maximum observable values. These values can be estimated from the available data. Figure 4 shows the normalized data. Five of the classically most common measures used to measure the accuracy of continuous variables were used to evaluate the results. These measurement values were determined based on studies in the literature.

The  $R^2$  measurement value is used for battery estimation of uninterruptible power supplies in the operation of (Avkiran et al. 2020). (Özen, Saraç, and Koyuncu 2021) indicates that the outbreak uses Prophet, Polynomial Regression, ARIMA, Linear Regression, and Random Forest algorithms to predict the number of confirmed cases in the United States. The performance rates of these algorithms were determined by using MAPE, RMSE performance measurement values. In their study, (Şahin, Oktay, and Konar 2020) used a model that predicts thrust from propeller



and engine information. They used MSE measurement values to measure the performance results of this model. The prediction performances of the algorithms were measured using the measurement values given in Equations 19, 20, 21 and 22.

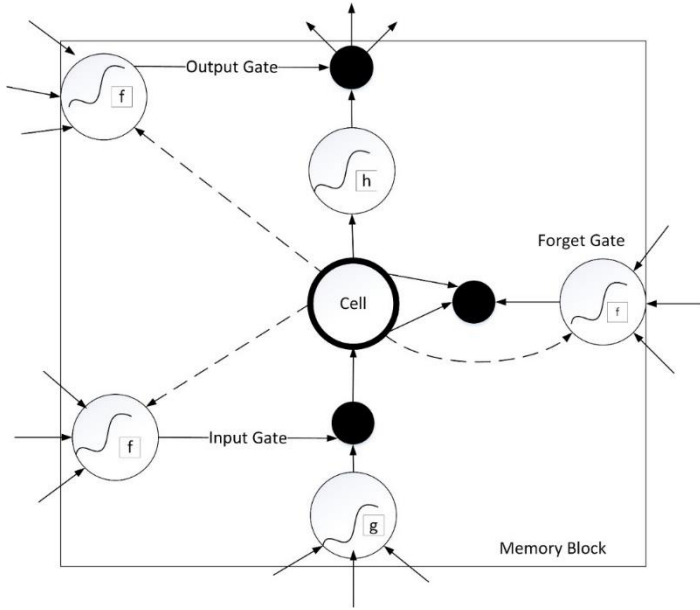


Figure 2. Memory block structure of LSTM architecture (Wang, Du, and Wang 2020)

The mean square error (MSE) is defined as the mean squared error, that is, the difference between the value estimated by the algorithm used and the original value in the data set used.

$$MSE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (19)$$

The root mean square of error (RMSE) represents the square root of the second sample moment of differences between the result obtained by the tested algorithm and the original value in the data set, or the quadratic mean of these differences.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (20)$$

The mean absolute error (MAE) determines the average size of the errors in the results obtained by the algorithm under test.

$$APE = \frac{100}{m} \sum_{i=1}^m \left[ \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right] \quad (21)$$

The mean absolute percent error (MAPE) is often used to measure the accuracy of predictions in regression and time series models. If there is zero between the actual values, MAPE cannot be calculated because there will be division by zero.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (22)$$

In equations (19), (20), (21) and (22),  $\hat{Y}$ ,  $\bar{Y}$  show the predicted result and mean value of  $Y$  value, respectively. The  $R^2$  score is the coefficient that shows how well the estimated values are in agreement with the original value. It can be said that the higher the result, the more successful the result.

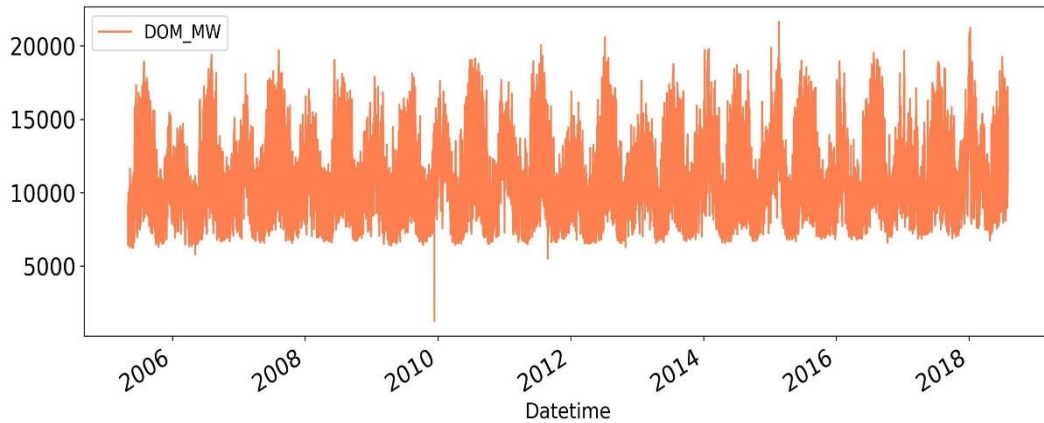


Figure 3. DOM\_MW hourly power consumption data before normalization

The results obtained in Table III show the results obtained by using the hour, day of the week, month, year, day of the year, day of the month, week of the year features in the extended data set without normalization. Details of the specified features are given in Table I. Among the XGBoost, LSTM, Linear Regression, and

RANSAC algorithms, only the LSTM algorithm has a condition to work on normalized data. There is no such requirement in other algorithms. Apart from the specified constraint, it can be found from the energy estimation without any constraint or condition in the LSTM algorithm.

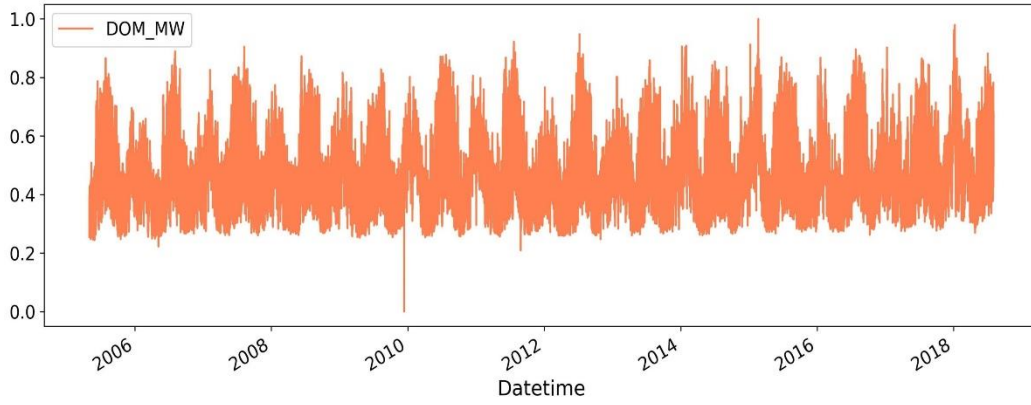


Figure 4. DOM\_MW hourly power consumption data - after normalization

The results obtained in Table IV are the results obtained by normalizing the energy data to the 0-1 range, except for the time data in the first column of the data set. Only the original data were used in the results in Table III. There is no feature extraction from the original data.

Table III. Statistical results obtained without normalization

Algorithm	R <sup>2</sup> Score	MSE	RMSE	MAE	MAPE
Linear (Train)	0.28	3073545	5553.02	4193.37	14.01
Linear (Test)	0.22	3517129	5771.97	4588.82	15.90
Ransac (Train)	0.14	4707227	6860.92	5301.94	16.88
Ransac (Test)	0.04	4301664	6558.70	5188.48	17.67
XGBoost (Train)	0.79	9001379.	2883.51	2224.85	7.259
XGBoost (Test)	0.67	1496091	38736.4	2857.21	9.510

Ransac (Test)	0.9567	0.0007	0.0256	0.0131	2.7165
XGBoost (Train)	0.9930	0.0001	0.0092	0.0060	0
XGBoost (Test)	0.9720	0.0004	0.0199	0.0102	2.0420
LSTM (Train)	0.9939	0.0001	0.0092	0.0060	0
LSTM (Test)	0.9738	0.0004	0.0199	0.0102	2.0302

Looking at the results in Table III and Table IV, it was concluded that the normalization step should be done in the data set used for estimation. For this purpose, the data set to be used for regression was scaled to the range of 0-1 using Equation (18).

Table IV. Results obtained on the normalized data set

Algorithm	R <sup>2</sup> Score	MSE	RMSE	MAE	MAPE
Linear (Train)	0.9758	0.0003	0.0183	0.0115	0
Linear (Test)	0.96529	0.0005	0.0230	0.0130	2.6455
Ransac (Train)	0.9709	0.0004	0.0201	0.0116	0

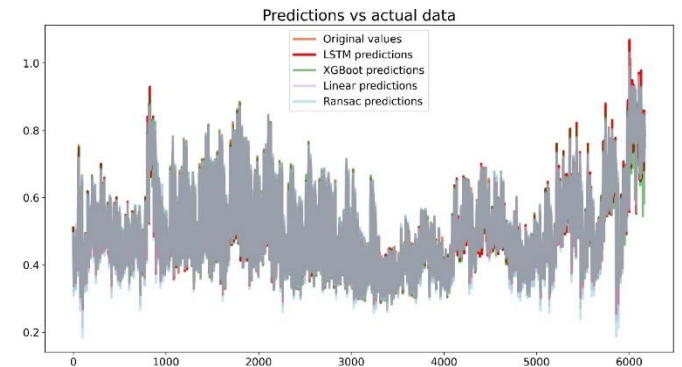


Figure 5. Prediction results made with LSTM, XGBoost, Linear, and RANSAC models

Figure 5 shows the estimation results obtained by the LSTM, XGBoost, Linear, and RANSAC methods. When we look at the results in Table IV, the results obtained are satisfactory. The differences between the estimates made with the specified models and the actual values are given in a table.

According to the table, it is seen that the prediction values of the model are very close to the true value. In Figure 6, it is seen that the decrease in training and test graphics decreases as the number of epochs increases. As can be seen in Figure 6, the test loss ratio performs the estimation process with a loss even less than the training loss ratio. In Figure 5, it is difficult to make an accurate interpretation because the time step in the x-axis of the graphs is close to the number 60000.



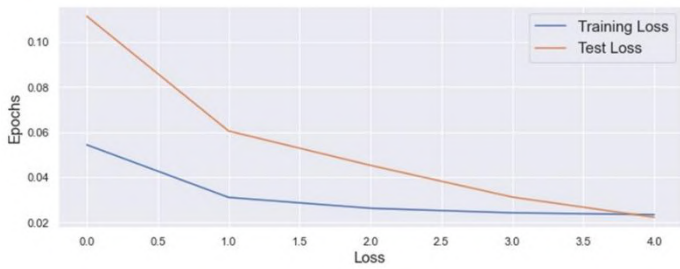


Figure 6. LSTM model training and test loss graph

For this reason, the result of the LSTM algorithm estimation, which provides the most successful model, is shown in Figure 7.

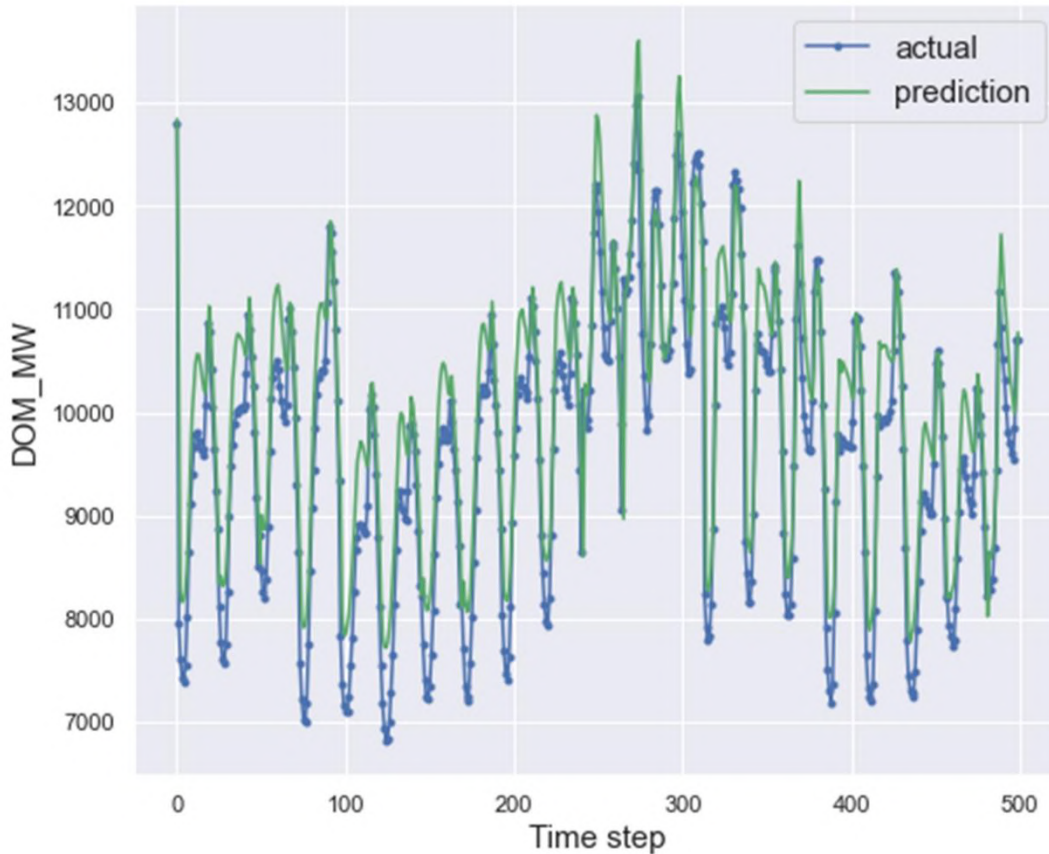


Figure 7. Predictions made by the LSTM model

## 5. Conclusion

Efforts are being made to facilitate future political and technological solutions for energy consumption in shelters and residences. In this sense, it is suggested that the structure of existing algorithms should be changed in order to calculate energy consumption accurately. In addition, it is mentioned that the algorithms data used by the developed algorithms should be normalized and optimized (Wei et al. 2018). Apart from these, the importance of the data sets used by the algorithms is gaining more and more meaning every day. Researchers recommend that smart meters, which enable high-particle measurement in a used electricity data set, be preferred for data collection. Datasets consisting of correct data are one of the important prerequisites for an accurate analysis. The time series consisting of hourly analyzes was used in the data set used in line with the suggestion of García et al. 2021.

Figure 7 shows the results of the LSTM algorithm, which gave the highest success rate among the algorithms tested. The LSTM algorithm is a successful algorithm at the point of time series. When the results obtained within the scope of this study are examined, it is seen that the stated opinion is supported by the figures. In the LSTM architecture, the dropout process was performed after each layer creation. Just before the completion of the LSTM model creation, the dense layer was added.

In the development of this study, (Carvalho et al. 2021) studies that examine energy consumption regionally on a country basis and (García et al. 2021) studies that examine individual energy consumption on the basis of behavior were taken into consideration. It is seen that it is important to examine the events from many different windows in the energy consumption analysis studies to be made based on these studies. In this study, consumption data was examined in only one region. The analyzes were carried out without considering environmental effects and an extraordinary situation such as an epidemic. With this study, it has been provided to develop a study that can be a basis for examining the change in energy consumption data.

In the regression processes, the data should be normalized. It is seen that the  $R^2$  scoring values of the algorithms used are close to each other. In this study, although other measurement models are given in a table,  $R^2$  scoring is taken as a basis in the evaluation phase. According to the  $R^2$  scoring values, the LSTM algorithm has been shown to have one-point higher accuracy than other

models. All regression algorithms used in this sense can be used in the energy consumption data set. Excluding holidays and public holidays will yield better results for better results. The LSTM algorithm took more time during the training phase than other algorithms. Here, faster regression operations can be performed with LSTM by extending the dataset over the date column and minimizing the attributes unrelated to the feature selection. Different results are obtained for different parameters for LSTM. In predictive modeling, the model parameters with the best results were used. As a result of various experimental studies, the LSTM tuning parameters were obtained. New algorithms can be developed for the automatic detection of these values. This study has also revealed an important study in terms of forming the basis of the automatic LSTM parameter determination algorithm, which will be used in the automatic parameter determination in the future.

## References

- Antanasijević, Davor, Viktor Pocajt, Mirjana Ristić, and Aleksandra Perić-Grujić. 2015. "Modeling of Energy Consumption and Related GHG (Greenhouse Gas) Intensity and Emissions in Europe Using General Regression Neural Networks." *Energy* 84 (May): 816–24. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.060>.
- Arghira, Nicoleta, Lamis Hawarah, Stéphane Ploix, and Mireille Jacomino. 2012. "Prediction of Appliances Energy Use in Smart Homes." *Energy* 48 (1): 128–34. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.010>.
- Avkıran, Metehan, Gül Vedat, Savaş Şahin, and İbrahim Tanağardıgil. 2020. "Data Acquisition Module Design for Remote Monitoring of Uninterruptible Power Supply and Regression Models of Battery Life." *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 279–83.
- Bagnasco, A, F Fresi, M Saviozzi, F Silvestro, and A Vinci. 2015. "Electrical Consumption Forecasting in Hospital Facilities: An Application Case." *Energy and Buildings* 103 (September): 261–70. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.056>.
- Bahar, Nur H.A., Michaela Lo, Made Sanjaya, Josh Van Vianen, Peter Alexander, Amy Ickowitz, and Terry Sunderland. 2020. "Meeting the Food Security Challenge for Nine Billion People in 2050: What Impact on Forests?" *Global Environmental Change* 62 (May): 102056. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102056>.
- Bhati, Abhishek, Michael Hansen, and Ching Man Chan. 2017. "Energy Conservation through Smart Homes in a Smart City: A Lesson for Singapore Households." *Energy Policy* 104 (May): 230–39. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.032>.
- Carvalho, Monica, Danielle Bandeira de Mello Delgado, Karollyne Marques de Lima, Marianna de Camargo Cancela, Camila Alves dos Siqueira, and Dyego Leandro Bezerra de Souza. 2021. "Effects of the COVID-19 Pandemic on the Brazilian Electricity Consumption Patterns." *International Journal of Energy Research* 45 (2): 3358–64.
- Change, Climate. 2014. "Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.[Core Writing Team, RK Pachauri and LA Meyer." IPCC, Geneva, Switzerland.
- Chen, Tianqi, and Carlos Guestrin. 2016. "Xgboost: A Scalable Tree Boosting System." In *Proceedings of the 22nd Acm Sigkdd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–94.
- Deb, Chirag, Fan Zhang, Junjing Yang, Siew Eang Lee, and Kwok Wei Shah. 2017. "A Review on Time Series Forecasting Techniques for Building Energy Consumption." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 74: 902–24.
- Derpanis, Konstantinos G. 2010. "Overview of the RANSAC Algorithm." *Image Rochester NY* 4 (1): 2–3.
- Edwards, Richard E, Joshua New, and Lynne E Parker. 2012. "Predicting Future Hourly Residential Electrical Consumption: A Machine Learning Case Study." *Energy and Buildings* 49 (June): 591–603. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.010>.
- Enn, Rosa. 2015. "Impact of Climate Change and Human Activity on the Eco-Environment. An Analysis of the Xisha Islands." *Island Studies Journal* 10 (2): 263–64.
- Friedman, Jerome H. 2002. "Stochastic Gradient Boosting." *Computational Statistics & Data Analysis* 38 (4): 367–78.
- García, Sebastián, Antonio Parejo, Enrique Personal, Juan Ignacio Guerrero, Félix Biscarri, and Carlos León. 2021. "A Retrospective Analysis of the Impact of the COVID-19 Restrictions on Energy Consumption at a Disaggregated Level." *Applied Energy* 287: 116547.
- Günay, M Erdem. 2016. "Forecasting Annual Gross Electricity Demand by Artificial Neural Networks Using Predicted Values of Socio-Economic Indicators and Climatic Conditions: Case of Turkey." *Energy Policy* 90: 92–101.
- Guo, Siyue, Da Yan, Shan Hu, and Yang Zhang. 2021. "Modelling Building Energy Consumption in China under Different Future Scenarios." *Energy* 214 (January): 119063. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119063>.
- Hu, Liyang, Chao Wang, Zhirui Ye, and Sheng Wang. 2021. "Estimating Gaseous Pollutants from Bus Emissions: A Hybrid Model Based on GRU and XGBoost." *Science of The Total Environment* 783: 146870.
- Ilbeigi, Marjan, Mohammad Ghomeishi, and Ali Dehghanbanadaki. 2020. "Prediction and Optimization of Energy Consumption in an Office Building Using Artificial Neural Network and a Genetic Algorithm." *Sustainable Cities and Society* 61: 102325.
- Jung, Hyun Chul, Jin Sung Kim, and Hoon Heo. 2015. "Prediction of Building Energy Consumption Using an Improved Real Coded Genetic Algorithm Based Least Squares Support Vector Machine Approach." *Energy and Buildings* 90 (March): 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.029>.
- Ketkar, Nikhil, and Eder Santana. 2017. *Deep Learning with Python*. Vol. 1. Springer.
- Koengkan, Matheus, José Alberto Fuinhas, and Nuno Silva. 2021. "Exploring the Capacity of Renewable Energy Consumption to Reduce Outdoor Air Pollution Death Rate in Latin America and the Caribbean Region." *Environmental Science and Pollution Research* 28 (2): 1656–74.
- Li, Yan. 2019. "Prediction of Energy Consumption: Variable Regression or Time Series? A Case in China." *Energy Science & Engineering* 7 (6): 2510–18. <https://doi.org/10.1002/ese3.439>.
- Lü, Xiaoshu, Tao Lu, Charles J Kibert, and Martti Viljanen. 2015. "Modeling and Forecasting Energy Consumption for Heterogeneous Buildings Using a Physical–Statistical Approach." *Applied Energy* 144 (April): 261–75. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.019>.
- Mitchell, Rory, and Eibe Frank. 2017. "Accelerating the XGBoost Algorithm Using GPU Computing." *PeerJ Computer Science*

- 3 (July): e127. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.127>.
- Moletsane, Pheny Phemelo, Tebogo Judith Motlhamme, Reza Malekian, and Dijana Capeska Bogatmoska. 2018. "Linear Regression Analysis of Energy Consumption Data for Smart Homes." In 2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 0395–99. IEEE. <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2018.8400075>.
- Moreno, M, Benito Úbeda, Antonio Skarmeta, and Miguel Zamora. 2014. "How Can We Tackle Energy Efficiency in IoT Based Smart Buildings?" *Sensors* 14 (6): 9582–9614. <https://doi.org/10.3390/s140609582>.
- O'Neill, Zheng, and Charles O'Neill. 2016. "Development of a Probabilistic Graphical Model for Predicting Building Energy Performance." *Applied Energy* 164 (February): 650–58. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.015>.
- Özen, Nur Selin, Selin Saraç, and Melik Koyuncu. 2021. "COVID-19 Vakalarının Makine Öğrenmesi Algoritmaları İle Tahmini: Amerika Birleşik Devletleri Örneği." *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 22: 134–39.
- Protić, Milan, Fahman Fathurrahman, and Miomir Raos. 2019. "Modelling Energy Consumption of the Republic of Serbia Using Linear Regression and Artificial Neural Network Technique." *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette* 26 (1): 135–41. <https://doi.org/10.17559/TV-20180219142019>.
- Roldán-Blay, Carlos, Guillermo Escrivá-Escrivá, Carlos Álvarez-Bel, Carlos Roldán-Porta, and Javier Rodríguez-García. 2013. "Upgrade of an Artificial Neural Network Prediction Method for Electrical Consumption Forecasting Using an Hourly Temperature Curve Model." *Energy and Buildings* 60 (May): 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.12.009>.
- Şahin, Hüseyin, Tugrul Oktay, and Mehmet Konar. 2020. "Anfis Based Thrust Estimation of a Small Rotary Wing Drone." *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 18: 738–42.
- Wang, Jian Qi, Yu Du, and Jing Wang. 2020. "LSTM Based Long-Term Energy Consumption Prediction with Periodicity." *Energy* 197: 117197.
- Wei, Yixuan, Xingxing Zhang, Yong Shi, Liang Xia, Song Pan, Jinshun Wu, Mengjie Han, and Xiaoyun Zhao. 2018. "A Review of Data-Driven Approaches for Prediction and Classification of Building Energy Consumption." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82: 1027–47.
- Zhou, Jian, Enming Li, Mingzheng Wang, Xin Chen, Xiuzhi Shi, and Lishuai Jiang. 2019. "Feasibility of Stochastic Gradient Boosting Approach for Evaluating Seismic Liquefaction Potential Based on SPT and CPT Case Histories." *Journal of Performance of Constructed Facilities* 33 (3): 4019024.



# Gerçek Zamanlı Ses Tanıma ile Robot Kolu Kontrolü

Ozan Fırat Çıplak<sup>1</sup>, Serkan Keser<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırşehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5197-7810), ozanfc@gmail.com

<sup>2\*</sup> Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, El.-Elektronik Müh. Bölümü, Kırşehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8435-0507), skeser@ahievran.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 10 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 10 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.969608)

**ATIF/REFERENCE:** Çıplak, O. F. & Keser, S. (2021). Gerçek Zamanlı Ses Tanıma ile Robot Kolu Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 34-39.

## Öz

Gün geçtikçe cihazların uzaktan kontrolünü gerçekleştiren tanıma sistemleri gelişmektedir. En çok kullanılan tanıma sistemleri olarak konuşma, yüz ve parmak izi tanıma sistemleri gösterilebilir. Konuşma tanıma sistemleri güvenlik sistemlerinde, cihaz kontrolü sistemlerinde ve dikte ettirme sistemlerinde gerçek zamanlı olarak kullanılabilir. Bu çalışmada konuşma komutlarının gerçek zamanlı olarak tanınması ile robot kolu kontrolü gerçekleştirilmiştir. Konuşma komutlarının tanınması için Yapay Sinir Ağları (YSA), Fisher Doğrusal Ayrım Analizi (FDAA) ve Ayırt Edici Ortak Vektör (AOVY) sınıflandırıcıları kullanılmıştır. Eğitim kümesi için, her biri altı farklı renge sahip dört farklı nesne için toplam 24 adet konuşma cümleleri oluşturulmuştur. Eğitim kümesindeki konuşma sinyalleri 8 konuşmacı tarafından oluşturulmuştur. Test ve eğitim aşamalarında her kişi 50 konuşma sinyalli seslendirmiştir. Komutun tanınması ile robot kolu önceden koordinatları belli olan nesneye yöneltilmektedir. Çalışma sonucunda AOVY için dil modelli ortalama konuşma tanıma oranı %97,13 ve dil modelsiz %88,20 olarak bulunmuştur. FDAA için dil modelsiz ortalama konuşma tanıma oranı %87,3 ve dil modelli %96,3 olarak bulunmuştur. YSA için dil modelli ortalama konuşma tanıma oranı %89,76 ve dil modelsiz %82,3 bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Konuşma tanıma, Robot kolu kontrolü, YSA, FDAA, AOVY.

## Robot Arm Control with Real-Time Speech Recognition

### Abstract

Recognition systems, which perform remote control of devices, are developing day by day. Speech, face, and fingerprint recognition systems seem to be the most frequently used recognition systems. Speech recognition systems can be used in real-time for security, device control and dictation systems. In this study, the robot arm is controlled by recognizing the real-time speech commands. Artificial Neural Networks (ANN), Fisher Linear Discrimination Analysis (FLDA) and Discriminative Common Vector Approach (DCVA) classifiers were used to recognize speech commands. For the training set, a total of 24 speech sentences have been recorded for four different objects with six different colors. Speech signals in the training set have been generated by 8 speakers. During the test and training phases, each person voiced 50 speech signals. The robot arm is directed to the objects whose coordinates are known beforehand with the recognition of the command. As a result of the study, the average speech recognition rate for DCVA with language model was % 97,13 and without language model was % 88,20. For the FLDA, the average speech recognition rate without language model was % 87,3 and with language model was % 96,3. For ANN, the average speech recognition rate with language model was % 89,76 and without language model % 82,3.

**Keywords:** Speech recognition, Robot arm controlling, ANN, FLDA, DCVA.



## 1. Giriş

Ses tanıma sistemleri günümüzde pek çok değişik alanda kullanılmaktadır. Bu alanlar genel olarak sesli komutlar ile ev içi cihazların kontrolünün sağlandığı akıllı evler, robotların ve taşıtların kontrolü, interaktif sesli cevap sistemleri, sesin yazıya dönüştürüldüğü dikte ettirme, konuşmadaki duyguyu tanıma ve konuşmacı tanıma olarak sayılabilir (Filho ve Moir, 2010; Anggraeni, 2018; Soujanya ve Kumar, 2010; Furui ve ark., 2004; Beigi, 2011; Lalitha, 2015; Akyazi ve ark., 2019). Ses tanımayı etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Bu etkenler genel olarak ses sinyallerine eklenen gürültüler, ses kaynağının ses alıcısına olan uzaklığı, seslendirilen kelimelerin yanlış telafuzu, seslendirilen sözcüklerin hangi sınıflayıcılar ile sınıflandırıldığı, kullanılan ses veri tabanı büyüklüğü, kişi bağımlı ya da kişi bağımsız olarak tanıma yapılması olarak sayılabilir (Çıplak ve Keser, 2021). Sınıflandırıcılar, ses tanıma oranlarının yüksek olmasında en büyük etkenlerden biridir. Sınıflandırıcıların tanıma oranlarına ise veri tabanı büyüklüğü ve kişi bağımlılık etkenleri de büyük etki etmektedir.

Literatürde en çok kullanılan ses tanıma sınıflayıcılarından biri olan Dinamik Zaman Bükme (DZB) algoritması, zaman serilerinin benzerlik ölçümünde kullanılan bir eşleştirme yöntemidir. Buna karşın genel tanıma oranı diğer sınıflayıcılara göre düşüktür (Permanasari ve ark., 2020). Saklı Markov Model (SMM) dil modeli kullanan, özellikle gerçek zamanlı ve kişi bağımsız tanımada yüksek tanıma oranları veren bir sınıflayıcıdır (Palaz ve ark.,2019; Muhammad ve ark.,2020; Tokuda ve ark., 2000). Uzun-Kısa Süreli Bellek (UKSB) mimarisini kullanan Tekrarlayan Sinir Ağları (TSA) ise günümüzde ses tanımada çok kullanılan ve iyi sonuçlar verdiği bilinen bir derin öğrenme algoritmasıdır (Sak ve ark. 2014; Dokuz ve Tüfekci, 2020). Ses tanımada kullanılan bir diğer derin öğrenme algoritması ise Evrimsel Sinir Ağlarıdır (ESA). ESA algoritması sınıflayıcı olarak kullanılarak ses tanımada yüksek tanıma oranları elde edilebilmektedir (Guleti ve ark. 2020; Dokuz ve Tüfekci, 2020).

Ses tanımda kullanılan bir diğer sınıflayıcı ailesi alt uzay sınıflandırıcılarıdır. Literatürde görüntü yada ses tanımda kullanılan temel alt uzay sınıflayıcılar; Fisher Doğrusal Ayrım Analizi (FDA), Class Featuring Information Compression (CLAFIC) ve Ortak Vektör Yaklaşımı (OVY) olarak sayılabilir (Keser ve Edizkan, 2009; Yavuz ve ark. 2006; Gunal ve Edizkan, 2008; Çıplak ve Keser, 2021). Bir alt uzay sınıflandırma yöntemi olan Ortak Vektör Yaklaşımı (OVY), sınırlı sayıda yalıtık kelime tanıma uygulamalarında yüksek tanıma oranları vermektedir (Gülmezoglu, 1999; Gunal ve Edizkan, 2008; Gülmezoğlu, 2007). Yapılan çalışmalarda sınırlı sayıda kelime kullanılarak %95'in üzerinde başarımlar elde edilmiştir. Ayrıca OVY (ya da AOVY) sınıflandırma yaparken yukarıda belirtilen pek çok sınıflayıcıya göre daha hızlı çalışabilmektedir. Hızlı çalışmasının temel sebebi ise her sınıfı temsil eden bir adet vektör kullanmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum AOV'yi gerçek zamanlı ses tanıma uygulamaları için cazip hale getirmektedir. İlk olarak Çevikalp (2004) tarafından OVY yöntemini temel alan ve özellikle yüz tanıma uygulamalarında kullanılan Ayıredici Ortak Vektör Yaklaşımı (AOVY) tanıtılmıştır. AOVY yaklaşımı yüz tanıma uygulamalarında diğer alt uzay metotlar olan Eigenface ve FDA sınıflandırıcılarına göre daha iyi sonuçlar verebilmektedir (Çevikalp, 2004). Ayrıca aynı AOV gibi, Eigenface ve FDA alt uzay metotlara göre daha hızlı bir hesaplama süresine sahiptir.

AOVY'nin OVY'ye göre bir avantajı ise test aşamasında her sınıf için sınıf sayısının bir eksiği boyutta öznelik vektörleri ile işlem yapmasıdır. Genelde sınıf sayısı, OVY tarafından kullanılan öznelik vektörü boyutundan çok daha küçük olmaktadır. Bir diğer önemli alt uzay yöntemi olan FDA benzer şekilde genel olarak yüz tanıma çalışmalarında kullanılan ve Doğrusal Ayrım Analizi (DAA) yöntemini temel alan bir sınıflandırıcıdır (Belhumeur ve ark.,1997).

Bu çalışmada yalıtık kelime tanıma işlemi gerçek zamanlı ve kişi bağımlı olarak YSA, AOVY ve FDA sınıflandırıcıları ile gerçekleştirilmiştir. Konuşma veri tabanı sınırlı sayıda (10 adet) sözcükten oluşmaktadır. Benzer bir çalışma her komut kelimesi için bir kişi tarafından seslendirilen 40 ses sinyali ile oluşturulmuştur (Çıplak ve Keser, 2021). Ancak kelime başına daha fazla ses sinyali ve daha fazla kişi ile eğitim yapma ile ortalama tanıma oranları daha sağlıklı yorumlanabilecektir. Buradan yola çıkarak eğitim ses veri tabanında bu sözcüklerin her biri için 50 ses sinyali 8 farklı kişi tarafından bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Ses sinyallerine MFCC uygulanarak öznelik vektörleri elde edilmiştir. Eğitim aşamasında öncelikle ses veri tabanındaki her sözcüğe ait öznelik vektörleri YSA, AOVY ve FDA kullanılarak eğitilmiştir. Test aşamasında her kişinin bir mikrofon aracılığı ile seslendirdiği iki sözcüğün her biri ayrı ayrı bilgisayar ortamında yazılmış bir program aracılığıyla sınıflandırılmıştır. Komutun tanınması ile robot kolu önceden koordinatları belli olan nesneye yöneltilmiştir. Bu yönelme işleminin yapılabilmesi için öncelikle bilgisayar yazılım ara yüzü ile konuşma komutları gerçek zamanlı olarak tanınmakta ve tanınan komuta göre ilgili veriler RS232 seri iletişim protokolü kullanılarak robot kontrol kartına iletilmektedir. Ardından kontrol kartında her bir nesnenin yerinin bilgisini içeren mikrodenetleyici yardımı ile robotun servo motorları nesne konumuna doğru yönelmektedir. Sınıflama sonucunda elde edilen tanıma başarımlarını artırmak için bir çeşit dil modeli de geliştirilmiştir (Çıplak ve Keser, 2021). Dil modeli kullanılan sınıflandırma işleminde AOVY ile %97,13 tanıma oranına erişilirken, FDA ile %96,3 ve YSA ile %89,76 tanıma oranına ulaşılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Yalıtık Kelime Tanıma

Çalışmada ses tanıma için kullanılan yöntemler için öncelikle eğitim aşaması gerçekleştirilmiştir. Bunun için ilk olarak ses veri tabanı oluşturulmuş, ses veri tabanından her sınıf için öznelik vektörlerinin elde edilmesi ve bu öznelik vektörleri kullanılarak AOVY ve FDA için eğitim işlemi yapılmıştır.

#### 2.1.1. Eğitim Veri Tabanının Oluşturulması

Öncelikle 8 kişi tarafından kişi bağımlı olarak 10 farklı kelime seslendirilerek bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Bu 10 farklı kelimedenden dördü "küp", "prizma", "silindir", "küre" gibi şekilleri içerirken diğer altı kelime bu şekillere ait renklerden (beyaz, kırmızı, mavı, siyah, sarı, yeşil) oluşmaktadır. Robot kol tarafından ses tanıma ile algılanacak her bir şekle ait 6 renk oluşturulmuştur. Böylece toplam 24 farklı ikili sözcükten oluşan komut yapısı oluşmaktadır. Bu komutlar aşağıdaki tablo-1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan iki kelimelik 24 adet komut kümesi

Renk-Nesne	Renk-Nesne	Renk-Nesne	Renk-Nesne	Renk-Nesne	Renk-Nesne
Kırmızı küp	Beyaz küp	Mavi küp	Siyah küp	Sarı küp	Yeşil küp
Kırmızı prizma	Beyaz prizma	Mavi prizma	Siyah prizma	Sarı prizma	Yeşil prizma
Kırmızı silindir	Beyaz silindir	Mavi silindir	Siyah silindir	Sarı silindir	Yeşil silindir
Kırmızı küre	Beyaz küre	Mavi küre	Siyah küre	Sarı küre	Yeşil küre

Çalışmada eğitim veri tabanı oluşturulurken nesnelere ve nesnelere ait toplam 10 farklı kelime (“Küp”, “Prizma”, “Silindir”, “Küre”, “Kırmızı”, “Beyaz”, “Mavi”, “Siyah”, “Sarı”, “Yeşil”) 8 kişi tarafından mikrofon kullanılarak seslendirilmiştir. Eğitim ses veri tabanındaki her kelime 50 kez seslendirilmiştir. Böylece bir kelime sınıfı için toplam 400 (8×50) adet ses sinyali elde edilmektedir. Bu ses kayıtları her kelime sınıfı için 16 kHz’de örneklenmiştir ve her örnek 16 bit’lidir. Öz nitelik vektörleri 40 ms’lik çerçeveler üzerinden elde edilmiştir. Çerçeveler arası %50 üst üste bindirme yapılmıştır. Her bir ses sinyali için 32 çerçeve kullanılmıştır. Bu çerçevelerin her biri 13 MFCC katsayısı ve bir çerçeve enerjisinden oluşan 14 parametreyle temsil edilmektedir. Ayrıca delta ve delta-delta katsayıları da alınarak her çerçeve için toplam 42 özellik vektörü elde edilmiştir. Böylece 8 kişi için bir sınıfa ait her biri 1344 (n=1344) uzunluklu 400 (=50×8) adet öz nitelik vektörü elde edilmiştir. Eğitim veri kümesi bu öz nitelik vektörlerin her sınıf için birleştirilmesi ile oluşturulmuştur (Çıplak ve Keser, 2021). Toplam her sınıf için 400×8=3200 (m=3200) örnek oluşmakta ve bu durumda çalışmada AOYV için yeterli veri durumu (m≥n) oluşmaktadır.

## 2.2. Kullanılan Sınıflayıcılar

Çalışmada alt uzay sınıflayıcılar olan AOYV ve FDAA yanında YSA’da kullanılmıştır.

### 2.2.1. Ayırt Edici Ortak Vektör Yaklaşımı (AOYV)

Ortak vektör yaklaşımı (OVY) ile her sınıfa ait değişmez özellikler taşıyan bir vektör elde edilir ve bu vektör “ortak vektör” olarak isimlendirilir (Gülmezoglu, 1999). AOYV ise elde edilen ortak vektörlerin birbirlerine göre dağılımlarını en büyükleyen dik iz düşüm vektör kümesi kullanılmaktadır. Eğer eğitim setinde her biri k örnek olan c farklı sınıf varsa bu durumda eğitim setinde toplam  $m=kc$  adet örnek olacaktır. Burada m ses komut sınıfına ait vektör sayısını, n ise her bir vektör boyutunu göstermek üzere, OVY hem yeterli veri durumu ( $m \geq n$ ), hem de yetersiz veri durumlar ( $m < n$ ) için uygulanabilir (Keser ve Edizkan, 2009). Aynı durum AOYV içinde geçerlidir. Sınıfı i olan r’inci sinyal örneğini n-boyutlu uzayda  $x_r^i$  ile gösterirsek, sınıflar içi dağılım matrisi  $S_w$  aşağıdaki gibi verilir,

$$S_w = \sum_{i=1}^c \sum_{r=1}^k ((x_r^i - \mu_i)(x_r^i - \mu_i)^T) \quad (1)$$

Burada,  $\mu_i$  i’nci sınıfa ait ortalama vektörü göstermektedir. Farklılık alt uzayı B ve farksızlık alt uzayı  $B^\perp$  olmak üzere birbirine dik iki alt uzaya ayrılır (Gülmezoglu, 1999). Farksızlık alt uzayı  $B^\perp$ ,  $S_w$  matrisinin sıfır öz değerlerine karşılık gelen öz vektörler tarafından gerilir. P ve  $\bar{P}$  matrisleri sırasıyla B ve  $B^\perp$  uzaylarının iz düşüm matrisleri olarak alınırsa, eğitim setindeki örneklerin  $B^\perp$  alt uzayındaki izdüşümleri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$x_{com}^i = x_r^i - P x_r^i = \bar{P} x_r^i, \quad i=1,2,\dots,c \quad (2)$$

Aşağıdaki Denklem 3’te belirtilen  $S_{com}$  ortak vektörlere ait saçılım matrisi olup, aşağıdaki gibi bulunur,

$$S_{com} = \sum_{i=1}^c (x_{com}^i - \mu_{com})(x_{com}^i - \mu_{com})^T. \quad (3)$$

Bu eşitlikte  $\mu_{com}$  ortak vektörlere ait ortalama vektörünü ifade etmektedir. Bu durumda  $S_{com}$  matrisinin sıfırdan farklı öz değerlerine karşılık gelen öz vektörler, en uygun iz düşüm vektörlerini verir ( $W_{opt}$ ). Bu vektörlerin sayısı ( $r \leq c-1$ ),  $S_{com}$  matrisinin rankına eşittir. En uygun iz düşüm vektörleri üzerindeki iz düşüm katsayılarından oluşan öz nitelik vektörleri aynı olup aşağıdaki gibi bulunur;

$$\Omega_i = [ < x_m^i, w_i > \dots < x_m^i, w_r > ] \quad (4)$$

Bu vektörler, “ayırt edici ortak vektörler” olarak adlandırılır (Çevikalp, 2004). Test aşamasında ses sinyallerinin ayırt edebilmesi için öncelikle bu test sinyaline ait öz nitelik vektörleri aşağıdaki eşitlikle bulunur:

$$\Omega_{test} = W^T x_{test} \quad (5)$$

Daha sonra  $\Omega_{test}$  ile eğitim setindeki sınıflara ait ayırt edici ortak vektörlerin arasındaki Öklid uzaklığına bakılır. Test ses sinyali, en küçük uzaklığı veren sınıfa atanır.  $\Omega_{test}$  her sınıf için tek bir öz nitelik vektörü ile karşılaştırıldığından tanıma oldukça hızlı gerçekleştirilebilmektedir.

### 2.1.2. Fisher Doğrusal Ayrım Analizi (FDAA)

FDAA ise DAA’dan türetilmiş bir alt uzay sınıflama metodudur. Bu metod kullanılarak sınıflar-arası ve sınıflar-içi dağılım oranını en büyükleyen bir dik vektör kümesi (W) bulunur (Belhumeur, 1997). Burada sınıflar içi dağılım matrisi ( $S_w$ ) yukarıda belirtilen Denklem 1 ile bulunur. Sınıflar arası dağılım matrisi ise aşağıdaki gibidir,

$$S_B = \sum_{i=1}^c N(\mu_i - \mu)(\mu_i - \mu)^T \quad (6)$$

Burada N sınıfı oluşturan toplam örnek sayısıdır.  $\mu_i$  sınıf ortalaması ve  $\mu$  tüm sınıfların ortalamasıdır. En uygun taban vektörleri ( $W_{opt}$ ) aşağıdaki gibi bulunur (Belhumeur, 1997).

$$W_{opt} = \underset{W}{\operatorname{argmax}} \frac{|W^T S_B W|}{|W^T S_w W|} = [w_1 w_2 \dots w_m] \quad (7)$$

Burada  $m=c-1$  olmaktadır. Aşağıdaki gibi belirtilen denklemde  $S_w^{-1} S_B$  çarpım sonucunda oluşan matrisin en büyük özdeğerlerine karşılık gelen  $c-1$  adet öz vektör en uygun taban vektörünü ( $W_{opt}$ ) vermektedir.

$$S_B w_i = \lambda_i S_w w_i, \quad i=1,2,\dots,m \quad (8)$$



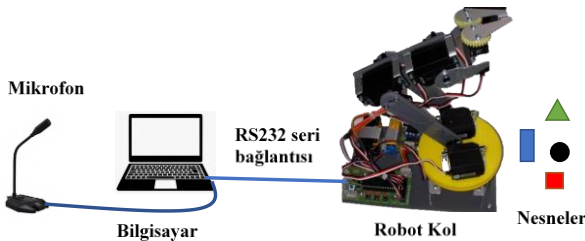
Tanımaya problemlerinde, sınıf içi dağılım matrisi  $S_w$ 'nin genellikle tekil olması problemiyle karşılaşılır. Bu problemin üstesinden gelmek için FDAA yöntemi ses sinyali kümesini daha düşük boyutlu bir uzaya iz düşürür. Bunun için öncelikle Temel Bileşen Analizi (TBA) kullanılarak özellik uzayı boyutu  $N-c$ 'ye düşürülür. Ardından  $N-c$  boyutlu uzaya standart FLD uygulanarak boyut  $c$ 'ye düşürülür ve Denklem 7 uygulanarak  $W_{opt}$  matrisi bulunur. Eğitim kümesindeki her sınıfa ait öznelik vektörleri  $W_{opt}$  kullanılarak optimum uzaya iz düşürülür. Test aşamasında, test sinyali  $W_{opt}$  kullanılarak iz düşürülüp  $\Omega_{test}$  bulunur. Ardından  $\Omega_{test}$  ile eğitim aşamasında sınıflara ait iz düşürülmüş vektörler arasındaki en küçük öklit mesafeyi veren sınıfa atama yapılır.

### 2.2.3. Yapay Sinir Ağları ile Sınıflandırma

Çalışmada eğitim aşaması için bir giriş katmanı, bir ara katman ve bir çıkış katmanı olmak üzere 3 katmanlı yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. 1344 boyutlu öznelik vektörleri çok büyük bir ağı yapısı gerektireceğinden öznelik vektörlerine Temel Bileşen Analizi (TBA) uygulanarak boyutları 10, 20, 40, 60 ve 80 boyuta indirgenmiş ve her biri için test işlemi gerçekleştirilmiştir. Test verileri öncelikle gerçek zamanlı olarak elde edilip 1344 boyutlu MFCC katsayıları bulunmuştur. Ardından TBA uygulanarak boyutlar yukarıda belirtilen daha küçük boyutlara (10, 20, 40, 60 ve 80) indirgenerek ağır giriş katmanına uygulanmıştır. Çıkış katmanında elde edilen etiket değerine göre sınıflama gerçekleştirilmiştir.

## 3. Robot Kolu Kontrolü

Aşağıdaki Şekil 1'de gerçek zamanlı ses komutları tanınarak robot kolu kontrolü şeması verilmiştir.



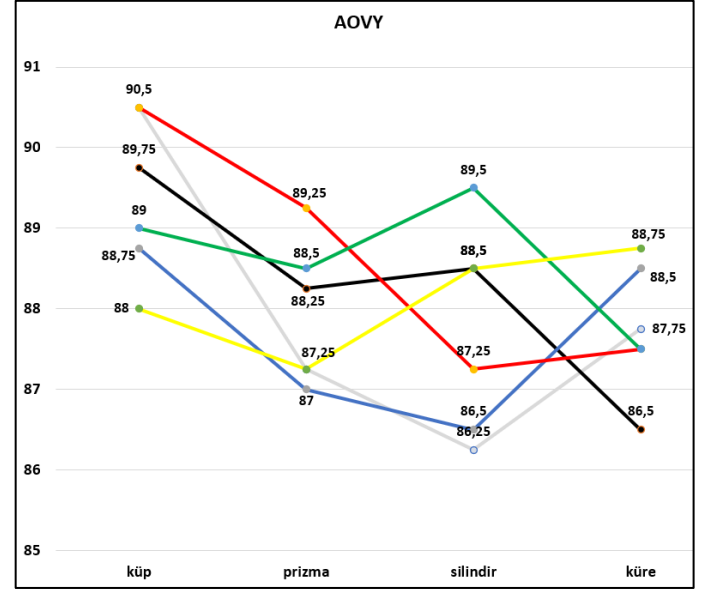
Şekil 1. Robot kolu kontrolü şeması

Test aşamasında ses sinyalleri 200-16000Hz frekans bant aralığında çalışan kapasitif bir mikrofon aracılığı ile gürültüsüz bir ortamda bilgisayara aktarılmakta ve komutları oluşturan her bir kelime sinyalinin başlangıç ve bitiş noktalarını hesaplayan bir algoritma yardımı ile bulunmaktadır. Sınırlar bulunduktan sonra test sinyali için MFCC ile öznelik katsayıları elde edilmektedir. Ardından bu öznelik vektörleri için AOVY ya da FDAA kullanılarak en olası sınıfa atama yapılmaktadır. Tanıma sonucunda bulunan komuta göre oluşturulan sinyal servo motor kontrol kartına iletilmektedir. Gelen sinyal tanınan komuta karşılık gelen nesnenin koordinat bilgisini içermektedir. Böylece robot kolu istenilen nesneye doğru yönelerek nesneyi kavramakta ve tanıma süreci son bulmaktadır. Başka bir komut geldiğinde benzer süreçler tekrarlanmaktadır.

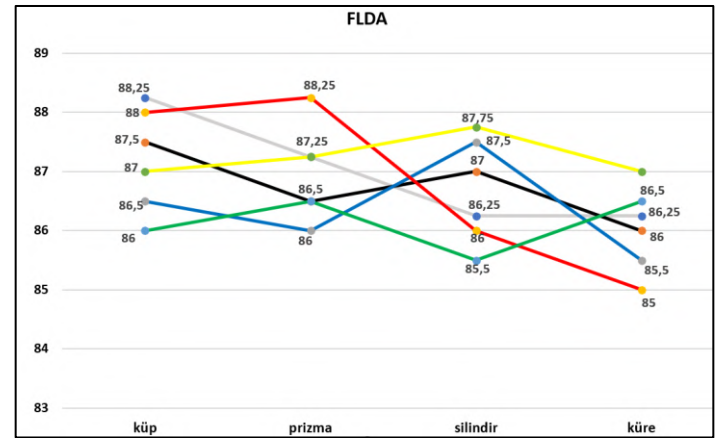
## 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Kişi bağımlı kelime tanıma çalışmasında her ikili kelime komutu 8 kişi tarafından 50 defa gerçek zamanlı olarak

seslendirilerek test işlemi gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki şekillerdeki çubukların renkleri nesnelere renklerine karşılık gelmektedir. Beyaz için gri renkli çubuk kullanılmıştır. Bu çalışmada AOVY için yeterli veri durumuna göre ses tanıma yapılmaktadır. Aşağıdaki Şekil 2'de ve Şekil 3'te dil modeli kullanmadan gerçekleştirilen testlerin sonuçları sırası ile AOVY ve FDAA için verilmiştir.



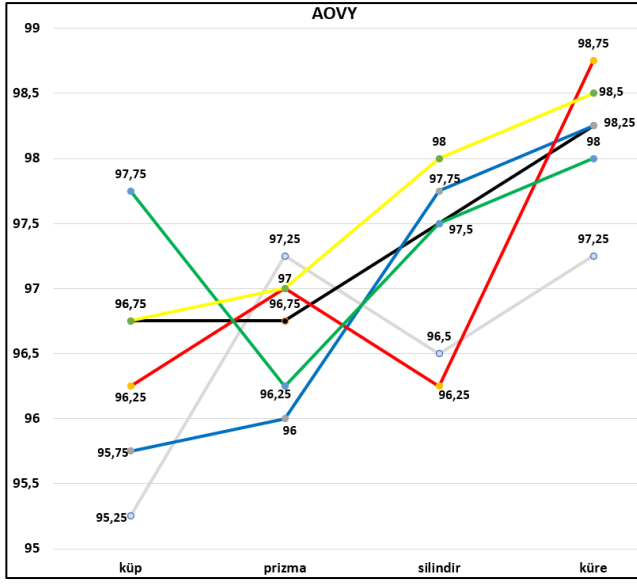
Şekil 2. AOVY için dil modelsiz komut kümeleri tanıma oranları (Ortalama=%88,20)



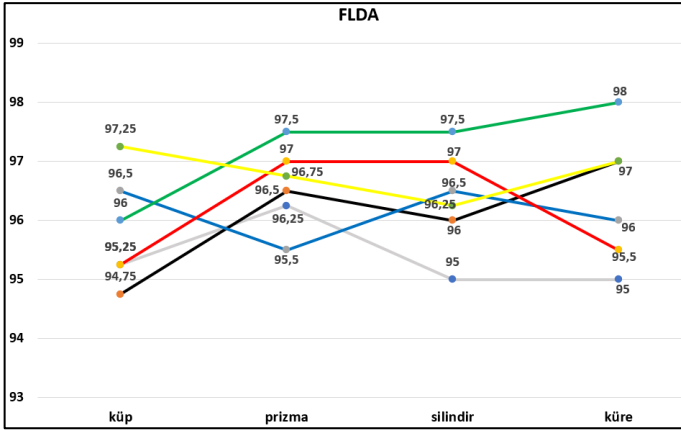
Şekil 3. FDAA için dil modelsiz komut kümeleri tanıma oranları (Ortalama=%86,72)

Şekil 2 ve Şekil 3'te dil modeli kullanılmadan AOVY ve FDAA için 24 farklı komut için bulunmuş ortalama tanıma oranları verilmiştir. 24 komutun ortalama tanıma oranları ise AOVY ve FDAA için sırası ile %88,2 ve %86,72 olarak bulunmuştur. Her ikili komutun kelimeleri ayrı ayrı 10 adet sınıf içerisinde en yakın sınıfa atanmıştır. Ancak bir komutta her zaman önce renk bilgisi sonra nesne bilgisi seslendirilmektedir. Bu yüzden ilk komutun 6 farklı renk içinden ve ikinci komutun 4 farklı nesne içinden seçilmesini içeren dil modeli bir çalışma daha gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde her sözcük kendi sınıf kümesi içerisinde sınıflandırılacağı için daha iyi tanıma başarımları elde edilebilecektir. Aşağıdaki Şekil 4 ve Şekil 5'te dil modeli kullanılarak gerçekleştirilen testlerin sonuçları sırası ile AOVY ve FDAA için verilmiştir. 24 komutun ortalama tanıma oranları ise

AOVY ve FDAA için sırası ile %97,13 ve %96,3 olarak bulunmuştur.

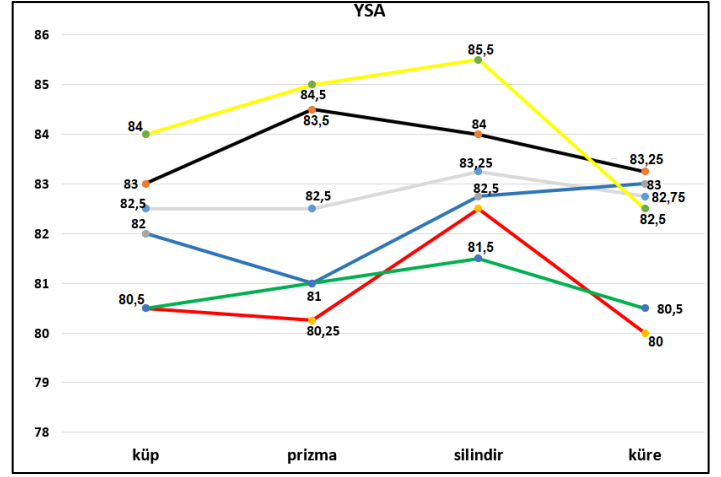


Şekil 4. AOVY için dil modelli komut kümeleri tanıma oranları (Ortalama= %97,13)

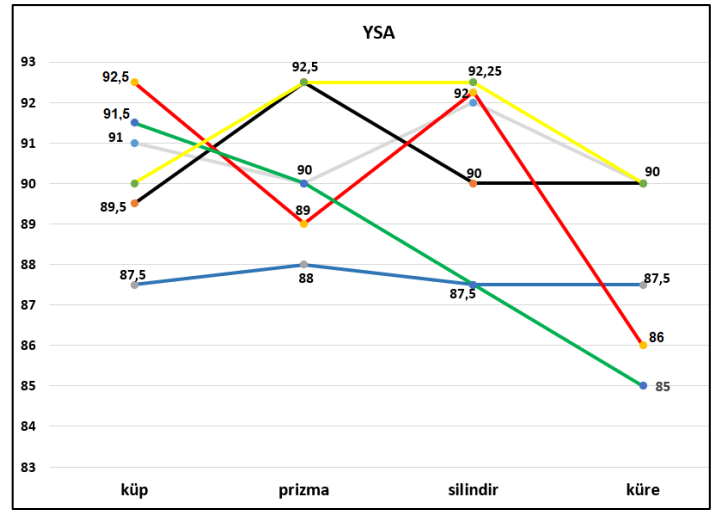


Şekil 5. FDAA için dil modelli komut kümeleri tanıma oranları (Ortalama= %96,3)

Şekil 4 ve Şekil 5'ten görülebileceği gibi dil modelli çalışma ile dil modelsiz çalışmaya kıyasla daha iyi tanıma oranları elde edilmiştir. Çalışmada TBA ile 1344 boyutlu MFCC öznitelik vektörleri sırası ile 10, 20, 40, 60 ve 80 boyuta indirgenmiş ve her biri için test işlemi gerçekleştirilmiştir. En iyi sonuç 40 boyutlu öznitelik boyutu için elde edilmiştir. Aşağıdaki şekiller için 40 boyutlu öznitelik vektörlerine göre 40 girişli bir giriş katmanı, ara katman ve bir çıkış katmanı olmak üzere 3 katmanlı yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Aşağıdaki Şekil 6 ve Şekil 7'de YSA için bulunan sırası ile dil modelsiz ve dil modelli sonuçlar verilmiştir. 24 komut için dil modelsiz ve dil modelli tanıma ortalama tanıma oranları sırası ile %82,42 ve %89,76 olarak bulunmuştur.



Şekil 6. YSA için dil modelsiz tanıma oranları (Ortalama= %82,42)



Şekil 7. YSA için dil modelli tanıma oranları (Ortalama= %89,76)

Çalışmada kullanılan sınıflayıcılar için bulunan ortalama tanıma oranları aşağıdaki Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Sınıflayıcılar için bulunan ortalama tanıma oranları

Dil modelsiz (%)			Dil modelli (%)		
AOVY	FDAA	YSA	AOVY	FDAA	YSA
88,20	86,72	82,42	97,13	96,3	89,76

Tablo 2'den de görülebileceği gibi dil modelli tanıma oranları, dil modelsize göre daha yüksek çıkmıştır. Sınıflayıcılar arasında AOVY dil modelli ve dil modelsiz çalışmalarda en yüksek tanıma oranlarını verirken, FDAA ise AOVY'ye yakın değerler vermiştir. Ayrıca YSA, FDAA ve AOVY'den daha az tanıma oranları vermiştir. Sonuçlar incelendiğinde özellikle AOVY ve FLDA için gerçekleştirilen dil modelli çalışmaların, literatürdeki gerçek zamanlı ses tanıma yüksek tanıma oranlarına sahip SMM, TSA ve ESA sınıflayıcılar gibi başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada sınıflandırma için etkin bir biçimde kullanılan alt uzay sınıflandırıcılar olan AOVY ve FDAA'nın yanı sıra YSA'da kullanarak üç farklı sınıflandırıcı ile gerçek zamanlı ve

kişi bağımlı konuşma tanıma uygulaması gerçekleştirilmiştir. AOVY ve FDAA genellikle görüntü tanıma uygulamalarında kullanılan sınıflayıcılardır. Ancak bu çalışma ile ses tanımadaki başarımları da test edilmiştir. Her komut 8 kişinin tanıma sonucu elde edilen bilgi seri haberleşme ile bilgisayara iletilmiş ve servo motor kontrolü sağlanarak robot kolu istenilen koordinatlara yönlendirilmiştir. Çalışma dil modelsiz ve dil modellenmiş olarak iki biçimde gerçekleştirilmiştir. Dil modelsiz çalışmada 24 komut kümesinin tümü için AOVY ve FDAA sırası ile %88,2 ve %86,72 ortalama tanıma oranlarına erişmiştir. YSA ise dil modellenmiş ortalama %82,42 tanıma oranına sahiptir. Dil modellenmiş çalışmada ise AOVY ve FDAA için sırası ile %97,13 ve %96,3 ortalama tanıma oranlarına erişilmiştir. Dil modellenmiş için YSA ise ortalama %89,76 tanıma oranına sahiptir. Sonuçlar incelendiğinde özellikle dil modellenmiş tanımda AOVY ve FDAA'nın birbirine yakın ve oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. YSA ise bu iki alt uzay sınıflayıcıdan daha düşük sonuçlar vermiştir. Ancak YSA önceden yapılan çalışmaya göre her sınıf için daha yüksek sayıda ses sinyali kullanıldığından daha iyi bir tanıma oranına erişildiği görülmüştür. AOVY ve FDAA için ise önceki çalışmanın tanıma oranlarına göre küçük bir miktar düşüş görülmüştür. Genel olarak değerlendirildiğinde özellikle dil modellenmiş çalışmada AOVY ve FDAA'nın literatürde ses tanımda yüksek tanıma oranlarına sahip SMM, TSA ve ESA sınıflayıcıları gibi başarılı sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

## Kaynakça

- Akyazi, Ö., Şahin, E., Özsoy, T., & Algül, M. (2019). A Solar Panel Cleaning Robot Design and Application. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 343-348.
- Anggraeni, D., Sanjaya, W. S. M., Nurasyidiek, M. Y. S., & Munawwaroh, M. (2018). The implementation of speech recognition using mel-frequency cepstrum coefficients (MFCC) and support vector machine (SVM) method based on python to control robot arm. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 288, No. 1, p. 012042). IOP Publishing.
- Beigi, H. (2011). Speaker recognition. In *Fundamentals of Speaker Recognition* (pp. 543-559). Springer, Boston, MA.
- Belhumeur, P. N., Hespanha, J. P., & Kriegman, D. J. (1997). Eigenfaces vs. fisherfaces: Recognition using class specific linear projection. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 19(7), 711-720.
- Çevikalp, H., Neamtu, M., Wilkes, M., & Barkana, A. (2004, April). A novel method for face recognition. In *Proceedings of the IEEE 12th Signal Processing and Communications Applications Conference, 2004.* (pp. 579-582). IEEE.
- Çıplak, O.F., ve Keser S., (2021). Robot Arm Controlling With Real-time Speech Recognition Using Subspace Based Classifiers, *ISPEC 10th International Conference on Engineering & natural sciences*, (pp. 247-256), Siirt University, Siirt, TURKEY.
- Dokuz, Y., & Tüfekci, Z. (2020). A Review on Deep Learning Architectures for Speech Recognition. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 169-176.
- Filho, G. L., & Moir, T. J. (2010). From science fiction to science fact: a smart-house interface using speech technology and a photo-realistic avatar. *International journal of computer applications in technology*, 39(1-3), 32-39.
- Furui, S., Kikuchi, T., Shinnaka, Y., & Hori, C. (2004). Speech-to-text and speech-to-speech summarization of spontaneous speech. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 12(4), 401-408.
- Gulati, A., Qin, J., Chiu, C. C., Parmar, N., Zhang, Y., Yu, J., ... & Pang, R. (2020). Conformer: Convolution-augmented transformer for speech recognition. *arXiv preprint arXiv:2005.08100*.
- Gunal, S., & Edizkan, R. (2007, July). Use of novel feature extraction technique with subspace classifiers for speech recognition. In *IEEE International Conference on Pervasive Services* (pp. 80-83). IEEE.
- Gunal, S., & Edizkan, R. (2008). Subspace based feature selection for pattern recognition. *Information Sciences*, 178(19), 3716-3726.
- Gülmezoglu, M. B., Dzhafarov, V., Keskin, M., & Barkana, A. (1999). A novel approach to isolated word recognition. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 7(6), 620-628.
- Gülmezoğlu, M. B., Dzhafarov, V., Edizkan, R., & Barkana, A. (2007). The common vector approach and its comparison with other subspace methods in case of sufficient data. *Computer Speech & Language*, 21(2), 266-281.
- Keser, S., & Edizkan, R. (2009, April). Phonem-based isolated Turkish word recognition with subspace classifier. In *2009 IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference* (pp. 93-96). IEEE.
- Lalitha, S., Mudupu, A., Nandyala, B. V., & Munagala, R. (2015, December). Speech emotion recognition using DWT. In *2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICIC)* (pp. 1-4). IEEE.
- Muhammad, H. Z., Nasrun, M., Setianingsih, C., & Murti, M. A. (2018, May). Speech recognition for English to Indonesian translator using hidden Markov model. In *2018 International Conference on Signals and Systems (ICSigSys)* (pp. 255-260). IEEE.
- Palaz, D., Magimai-Doss, M., & Collobert, R. (2019). End-to-end acoustic modeling using convolutional neural networks for HMM-based automatic speech recognition. *Speech Communication*, 108, 15-32.
- Permanasari, Y., Harahap, E. H., & Ali, E. P. (2019, November). Speech recognition using dynamic time warping (DTW). In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1366, No. 1, p. 012091). IOP Publishing.
- Sak, H., Senior, A., & Beaufays, F. (2014). Long short-term memory based recurrent neural network architectures for large vocabulary speech recognition. *arXiv preprint arXiv:1402.1128*.
- Soujanya, M., & Kumar, S. (2010, August). Personalized IVR system in contact center. In *2010 International Conference on Electronics and Information Engineering* (Vol. 1, pp. V1-453). IEEE.
- Tokuda, K., Yoshimura, T., Masuko, T., Kobayashi, T., & Kitamura, T. (2000, June). Speech parameter generation algorithms for HMM-based speech synthesis. In *2000 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Proceedings (Cat. No. 00CH37100)* (Vol. 3, pp. 1315-1318). IEEE.
- Yavuz, H. S., Çevikalp, H., & Barkana, A. (2006). Two-dimensional CLAFIC methods for image recognition. In *2006 IEEE 14th Signal Processing and Communications*



# Comparative Evaluation of Solar Houses Applied in Turkey

Çiğdem Belgin Dikmen\*

\* Yozgat Bozok University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Architecture, Yozgat, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5975-1552),  
[cbelgin.dikmen@gmail.com](mailto:cbelgin.dikmen@gmail.com)

(First received 9 August 2021 and in final form 2 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.980786)

**ATIF/REFERENCE:** Dikmen, Ç. B. (2021). Comparative Evaluation of Solar Houses Applied in Turkey *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 40-54.

## Abstract

The construction sector consumes a significant portion of the energy resources irreversibly and harms the environment. Limited resources and emerging environmental problems have made it necessary to search for new energy resources in the world and in our country, and to use renewable energy sources, environmentally friendly and energy efficient building designs in the building sector. In this context, the issues of solar energy, which is one of the clean and renewable sources and the use of solar energy in buildings, have gained importance. Although Turkey is in advantageous position compared to European countries in terms of potential solar energy, solar energy is not sufficiently utilized in buildings and studies are limited to academic studies. Solar houses, which are built in Turkey in order to benefit from solar energy with active and passive methods in heating, cooling, lighting and ventilation of buildings, consist of single examples designed with different functions. The aim of this study is to emphasize the importance of the use of solar energy in buildings within the scope of renewable energy sources, to examine the solar houses applied in Turkey comparatively and to make suggestions for solar house design.

**Keywords:** Renewable energy sources, solar energy use in buildings, solar house, active and passive systems, environmentally friendly energy source

## Türkiye’de Uygulanan Güneş Evlerinin Karşılaştırmalı Olarak Analizi

### Öz

Yapı sektörü enerji kaynaklarının önemli bir bölümünü geri dönüşü olmayacak biçimde tüketmekte ve çevreye zarar vermektedir. Kaynakların sınırlılığı ve ortaya çıkan çevre sorunları dünyada ve ülkemizde yeni enerji kaynaklarının araştırılmasını ve yapı sektöründe de yenilenebilir enerji kaynaklarının, çevreye duyarlı ve enerji etkin yapı tasarımlarının kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu çerçevede temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi ve yapıda güneş enerjisinin kullanımı konuları önem kazanmıştır. Türkiye sahip olduğu potansiyel güneş enerjisi açısından Avrupa ülkelerine kıyasla avantajlı konumda olmasına karşın, yapılarda güneş enerjisinden yeterince yararlanılmamakta ve yapılan çalışmalar akademik çalışmalarla sınırlı kalmaktadır. Türkiye’de yapıların ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırılmasında güneş enerjisinden aktif ve pasif yöntemlerle yararlanmak amacıyla gerçekleştirilen güneş evleri birbirinden farklı işlevlerle tasarlanmış tekil örneklerden oluşmaktadır. Bu çalışmanın amacı yenilenebilir enerji kaynakları kapsamında yapılarda güneş enerjisinin kullanımının önemini vurgulamak, Türkiye’de uygulanan güneş evlerini karşılaştırmalı olarak irdelemek ve güneş evi tasarımı için önerilerde bulunmaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir enerji kaynakları, yapılarda güneş enerjisi kullanımı, güneş evi, aktif ve pasif sistemler, çevre dostu enerji kaynağı

\* Sorumlu Yazar: [cbelgin.dikmen@gmail.com](mailto:cbelgin.dikmen@gmail.com)



### 1. Introduction

Population increase and urbanization coupled with industrialization have resulted in the preference of cities over rural areas for settlement. Throughout the world, people spend most of their times within buildings. Consequently, there has been an increase in construction activity and the use of natural resources, causing many environmental and energy problems. Looking at the sectoral distribution of energy consumption industrialized countries, the building sector comes in third after industry and transportation (Ministry of Environment and Urban Planning, 2016). Similarly, most of the greenhouse gases that contribute to global warming are generated by the construction industry (Ministry of Energy and Natural Resources MENR, 2001).

The ever-increasing construction activities along with urbanization boost the demand for energy resources which are essential for the continuation of life. The energy crises in the 1970's demonstrated that fossil fuels that are being used heavily since the industrial revolution are not environmentally friendly or renewable, giving rise to discussions on the concepts of environment and energy. The realization that construction activities irrecoverably damage the environment, that the natural resources that take millions of years to form are exhaustible, and that high-cost fossil fuels are not environmentally friendly has heightened the interest in renewable energy resources. Fossil fuels not only cause serious environmental problems (Benli 2006: 100; Dikmen and Gültekin, 2011: 96-100) but also lead to dependence on foreign energy sources. The energy requirement

capita in Turkey is increasing in parallel with the increasing population and developing technology. On the other hand, apart from the environmental problems arising from the use of fossil fuels, being dependent on foreign energy makes the use of renewable energy sources and solar energy more important in buildings. Population increase, the rise in construction activities, the ever-growing global energy demand, and the recognition that renewable energy resources are alternatives to fossil fuels all necessitate that energy and environmental problems are dealt with on a local, regional, and global scale. The solutions to these problems need to be sought by developing national and international policies and cooperation. The inexhaustible, environmentally friendly and pollutant-free (Keçel, 2007) renewable energy resources are water energy, wave energy, wind energy, geothermal energy, biomass energy, and solar energy. Solar energy has a potential well above the global energy demand and is used in various sectors such as industry, transportation, agricultural technology, residences and offices, signalization and automation, and electrical energy generation. According to the Ministry of Energy and Natural Resources production forecasts, domestic production of primary energy will level 31,091 ktoe in 2000 and 79,399 ktoe by 2020. The projections foresee domestic generation to top 95,946 ktoe in 2025 and 106,507 ktoe in 2030. Table 1 gives the findings related to primary energy resources and their domestic production planning (Tablo 1) (MENR, 2001; Kaygusuz, 2002). The population increase in Turkey between 1970 and 2020 was 122%; in this period, the energy consumption per capita increased by 148%. This data indicates that the rate of increase in per capita energy consumption in Turkey is above the global average (TUIK Population Growth Rate in Turkey).

Table 1. Primary energy production targets of Turkey from 2005 to 2030 (ktoe) ((Ministry of Energy and Natural Resources MENR, 2001; Kaygusuz, 2002)

Energy Sources	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Hardcoal and lignite	21.259	28.522	31.820	39385	42.732	45.954
Oil and natural gas	2.127	1.735	1.516	1.604	1.505	1.465
Central heating	495	884	1.336	2.018	2.427	2.758
Hydro power	5.845	7.520	8.873	9.454	10.002	10.465
Wood and waste	6.760	6.446	6.029	5.681	5.498	5.413
Geothermal	1.380	3.760	4.860	4.860	5.400	5.5430
Nuclear	0	3.657	9.143	18.286	26.988	29.600
Solar	459	907	1.508	2.294	2.845	3.268
Wind	250	620	980	1.440	1.786	2.154

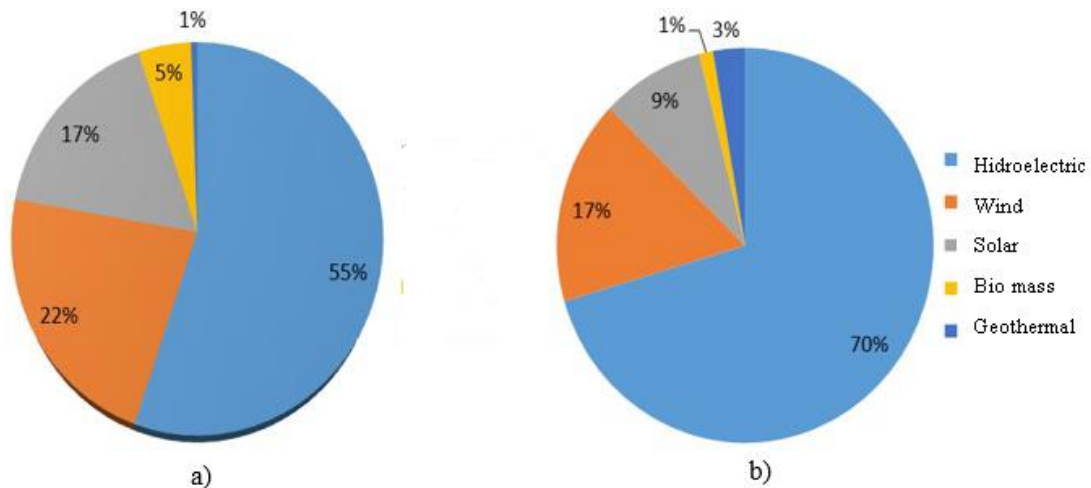


Figure 1. As the end of 2017, a. The distribution of renewable energy sources in the world according to their installed power b. cumulative installed power sharing ratios of renewable energy sources in Turkey (Delihanlar, Yaylacı and Dalcalı, 2019).

Owing to its geographical location, Turkey is among the most fortunate countries with respect to solar energy potential (Philibert, 2005: 9; Öztürk and Yüksel, 2016: 1259-1272; Uğurlu and Gökçöl, 2017). According to the Solar Energy Potential Atlas of Turkey, the total annual duration of insolation is estimated to be 2,737 hours (daily total 7.5 hours) and the total solar radiation as 1,527 kWh/m<sup>2</sup> per year (daily total 4.2 kWh/m<sup>2</sup>). The number of solar power plants was 362 by the end of 2015, totalling an installed capacity of 248.8 MW (Ministry of Energy and Natural Resources 2018). In Turkey, solar energy is most commonly used for drying agricultural products and supplying hot water. Despite the existing high potential, solar energy is not sufficiently employed in heating, cooling, ventilation, and air conditioning of buildings, or for generating electrical energy. Compulsory theoretical courses on solar energy are offered in the undergraduate and graduate programs of most universities. Also, some universities carry out solar research projects funded by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK), State Planning Organization, European Union (EU), and the Ministry of Science, Industry and Technology. Studies on solar energy are also supported by the Solar Energy Institute established in 1978 within Ege University, the state-funded Marmara Scientific and Industrial Research Institute established in the 1980's within TUBITAK, and the Ankara Electronic Research and Development Institute established in 1986 to conduct studies on solar battery design and production. Other than these establishments, the International Solar Energy Society Turkey Branch has been active, with state consent, since 1992. The State Meteorology Institute, The Electrical Energy Resources Survey Administration (EIEII), and Mechanical and Chemical Industry Corporation of Turkey contribute to solar energy research.

Most of the solar energy research carried out at universities and the projects funded by TUBITAK focus on drying agricultural products and developing water and air heating collectors. Research on the utilization of solar energy for heating-cooling-ventilation and air conditioning of buildings is limited. Similarly, studies on solar engines, solar-powered water pumps, solar-powered refrigerators, solar power plants and solar batteries are sparse. No national research project has been

conducted to date on solar power plants or hydrogen production using solar energy, topics that are considered very important for the future of Turkey.

Although Turkey is located more advantageously than most European countries in terms of solar energy potential (Figure 2), the solar house projects implemented in Turkey have remained limited to academic circles; there are only a few projects conducted by the public and private sectors. The aim of this study is to discuss the utilization of solar energy in buildings in Turkey, to review the solar houses implemented in Turkey that have various designs and functions using active and passive systems, to compare these houses with respect to their spatial characteristics, systems used and design criteria considered, and finally, to provide recommendations on solar house projects. The solar house projects evaluated in the scope of this study are, chronologically, Middle East Technical University Solar House (METU SH), Ege University Solar Energy Institute and Solar-Powered Drying House (EU SEI&SPDH), Çukurova University Solar House-Solar Energy Research and Application Centre (CU SH-SER&AC) (UZAYMER), Hacettepe University Solar House-New and Clean Energy Research Centre (HU SH-N&CERC) (YETAM), Erciyes University Solar House (EU SH), The Guesthouse of National Observatory of TUBITAK (GNO TUBITAK), Energy Efficiency Training Facility (EETF), Pamukkale University Clean Energy House (PU CEH), İstanbul Technical University Eco-building (ITU E), and Diyarbakır Solar House (DSH). Other solar houses in Turkey, namely Marmaris Solar Energy Laboratory of the Mineral Research and Exploration Institute, Ankara Metropolitan Municipality's Solar House, and the designed but not-yet-built Gazi University Solar House were not included in this study because of the differences in the spatial characteristics and the systems used in those projects. Out of the 10 solar houses evaluated in this study, 7 were realized by universities, 2 by a public institution that funds TUBITAK, and EIEII of the Ministry of Energy, and 1 by EU funds and the sponsorship of the local administration and many other agencies. Finally, recommendations are provided with respect to the use of clean, inexpensive, and environmentally friendly solar energy in the construction sector and the efficient use of the solar energy potential of Turkey.

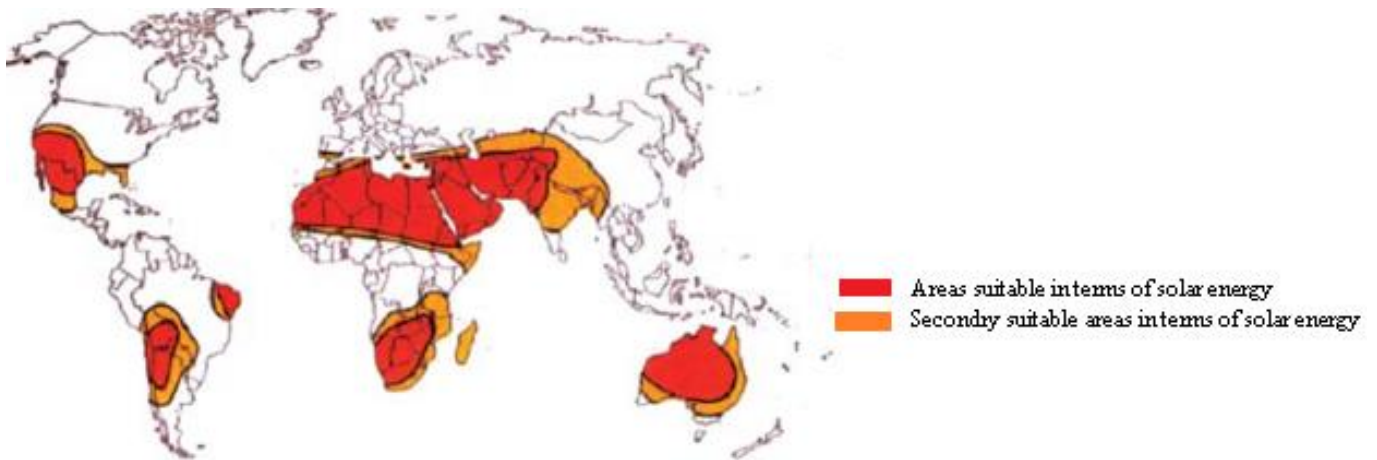


Figure 2. Regions of the world with high solar energy (Philibert, 2005: 9)

## 2. Materials and Methods

Solar houses aim to reduce energy consumption, maintenance and repair costs, building-related diseases, waste and pollution, increase the efficiency of building materials and

increase the level of building comfort. In this study, a method including information gathering, analysis, synthesis and evaluation stages was applied. Within the scope of the study, first of all, studies on the use of solar energy in buildings, direct and indirect gain systems were investigated with a



comprehensive literature study. The materials of the study consist of 10 solar houses selected from among the solar houses implemented in Turkey. Firstly, solarhouses implemented in Turkey were analyzed according to their construction dates and locations, sizes, architects and constructors and their functions, direct and indirect earnings systems and features. Then, the examined solar houses were evaluated comparatively, and the results and recommendations were presented.

### 2.1.Utilization of Solar Energy in Buildings

Solar energy has recently become the preferred energy resource in architecture owing to the advantages it provides to the end-user: it is renewable, environmentally friendly, can be implemented locally, does not require complex technology, and

allows for the conservation of energy. Solar energy is utilized by two basic systems, passive and active (Özdoğan, 2005). Passive systems consist of the utilization of solar energy for space heating by choosing appropriate materials based on decisions made in the planning phase. The addition of each new technological product to this basic design brings the passive system closer to an active one. To utilize solar energy, passive systems can be employed on their own. Alternatively, mechanical devices can be integrated with the buildings, and active systems can be included in the design (Bekar, 2007; Alparslan, Gültekin and Dikmen, 2009). The principles of utilization of solar energy by passive and active systems are shown in Figure 3 (Esin et al, 2002).

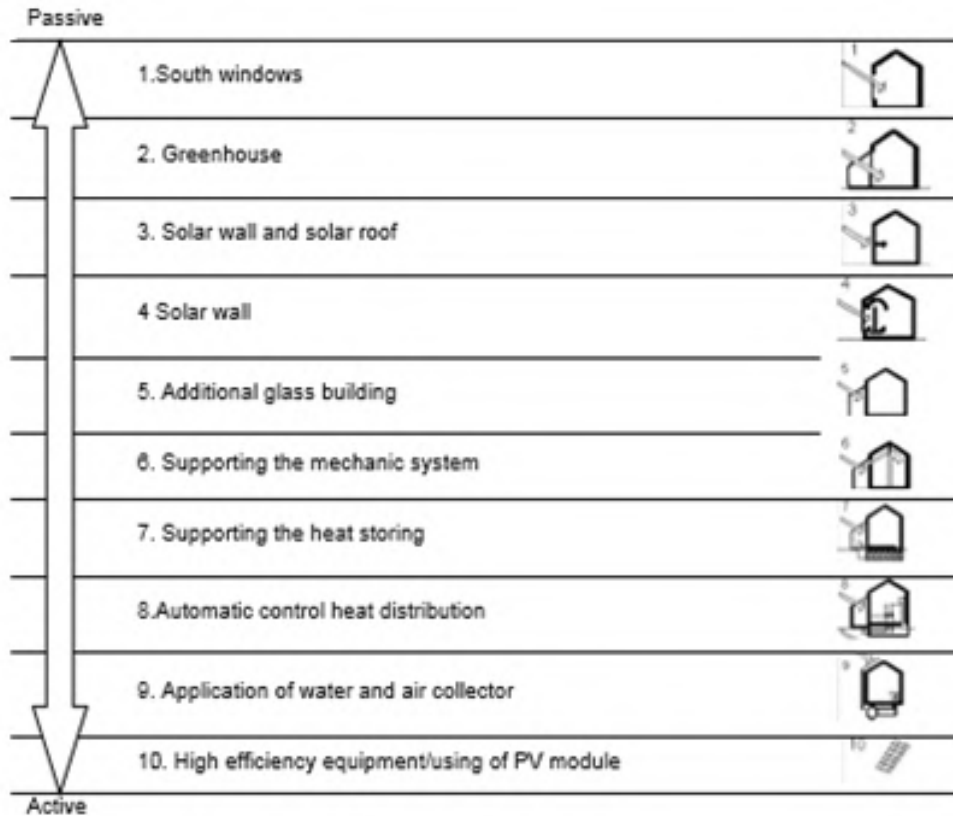


Figure 3. Principles of solar energy utilization by passive and active systems (Esin et al, 2002)

### 2.2.Direct and Indirect Gain Systems

Utilization of solar energy in buildings by passive systems can be realized by direct and indirect gain systems. In direct gain systems, solar radiation enters the building through glass surfaces or the roof, without an intermediate system, and is absorbed and stored in the interior surfaces and materials, creating a greenhouse effect. Thus, the entire building acts as an energy collector. In such a system, the location and the size of the windows and apertures that allow for heating or cooling, the sunrooms, and the roof apertures are all important. In indirect gain systems, however, solar radiation entering through the glass surfaces is absorbed in a wall placed behind the glass. These walls are usually painted black and made of materials suitable for heat storage, such as concrete, clay bricks, adobe bricks, or stone. The heat absorbed in the walls forms a thermal mass, which then is radiated into the rooms and circulated. Indirect gain systems allow for better control of indoor temperature. Passive systems such as solar walls, water wall, sunroom, roof apertures, and separate apertures are used for indirect gain

systems (Tayfun, 2007; Alparslan, Gültekin and Dikmen, 2009; Alparslan, 2010).

The active systems generally used in buildings comprise capturing the solar energy by flat plate collectors, storing the collected energy in water tanks or gravel beds located adjacent to or below the building, and distributing the stored energy by pumps or pipes. In these systems, devices such as solar collectors and photovoltaic panels (PVs) are used for space heating, and the energy captured by the heated and stored water is used for both space heating and a hot water supply.

### 2.3.Solar Houses Implemented in Turkey

The solar houses implemented in Turkey are presented chronologically by date of construction. They use various systems to utilize solar energy and also use different function.

**METU Solar House:** METU Solar House, the first solar house implemented in Turkey, was constructed during 1975-1980 by Architecture Department as part their summer practice program. It was originally planned as a greenhouse and solar

roof (Eskin, 2006: 78). Studies on the solar house were discontinued and remained unused for a long time. It was repaired by the METU Association of Academic Staff between 1995 and 1996. As part of the repair process, the existing collectors were replaced by an air heater solar roof, and a heat storage system was added to the floors. Today, it is being used as office by the METU Association of Academic Staff (Göksu, 2008).

The passive systems installed during the repair in 1996 are 19 cm. thick exterior walls, heat insulation for the floors and the roof, a windbreak on the northern façade to prevent heat loss, double-glass instead of the former 3 mm. thick glass, a winter garden on the southern façade, and floors and southern apertures designed for heat storage in the winter garden. The active

systems installed as part of this repair work are collectors, a cylindrical hot water tank, radiators, air heater solar roof (instead of water-heater), air canals in the floors, and solar panels on the roof (Göksu, 2008; Ecevit and Demirbilek, 1994; Demirbilek et al, 1997a: 3-5) (Photograph 1, 2) (Figure 4). The cylindrical tank that is placed on the roof stores heat and the flat plate liquid-medium solar collectors supply 22.4% of the total thermal energy requirement of the building (Şık, 1994; Altuntop, 2008: 6). The building presently utilizes solar energy for 50% of its power by means of the greenhouse and the passive systems. The use of solar energy is expected to increase to 70% when the solar roof is activated. If funding is available, the solar systems in this first solar house ever built in Turkey are planned to be activated, and the building is intended to be used as a museum.



Photograph 1. METU Solar House 1995 (Ecevit and Demirbilek, 1994; Demirbilek et al, 1997a: 3-5; Göksu, 2008)



Photograph 2. METU Solar House Winter Garden 1995 (Ecevit and Demirbilek, 1994; Demirbilek et al, 1997a: 3-5)

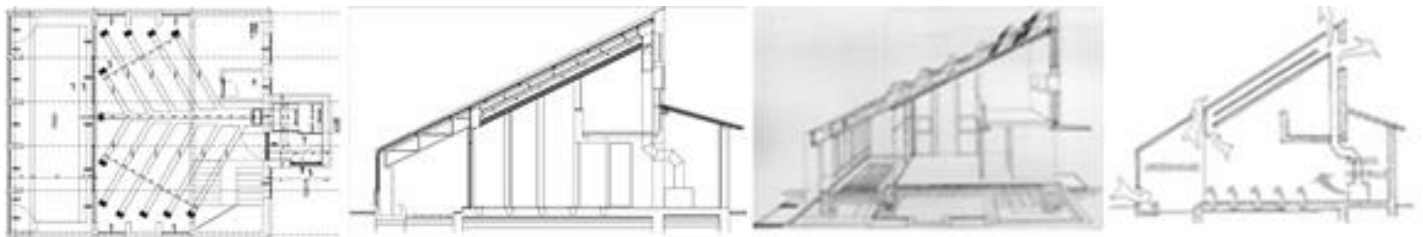


Figure 4. METU Solar House Piping Plan and Section (Ecevit and Demirbilek, 1994; Demirbilek et al, 1997a)

**Ege University SEI&SPDH:** Built in 1978, it is the first and only institute in Turkey established with this purpose, and it is the largest solar house implemented (Bozdoğan, 2003; Altuntop, 2005). The building was completed and opened for service in 1986 (Akdeniz, 1989). A double-glass wall, sunrooms, a roof inclination of 45° are erected on the southern façade, and solar gardens have been built (Irklı and Demirbilek, 2000). A buffer zone is formed on the northern façade; thick double-layered brick wall with insulation in between was constructed adjacent to the buffer zone. The building is used for training purposes. Among the studies carried out in the building are graduate studies on the utilization of renewable energy resources, including wind and geothermal other than solar. The system employed in the building comprises two ducts allowing fresh air in and letting heated air out. The air ducts located in the wall separating the office and classrooms from the corridor provide natural ventilation, especially in the summer. Movable

blinds are used in this building for protection against solar radiation and to prevent overheating of the windows and the greenhouses. In the building, solar energy is concentrated and the resulting high temperature and pressure steam is used to generate electricity. Solar energy is also utilized for heating and cooling, for supply of hot water, and by distillation, drinking water (Photograph 3) (Figure 5, 6).



Photograph 3. Ege University SEI&SPDH (a.Irkli and Demirbilek, 2000; b.Google Images)

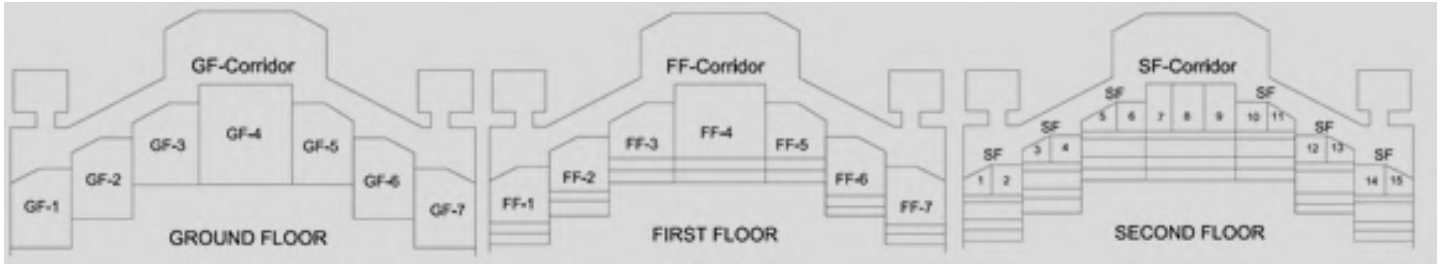


Figure 5. Ege University SEI&SPDH, Plans (Irkli and Demirbilek, 2000)

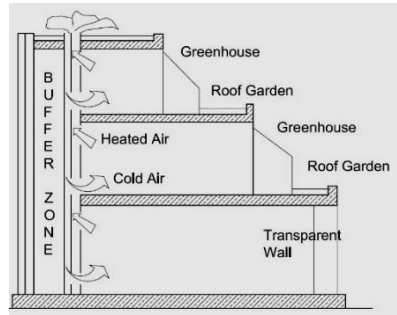


Figure 6. Ege University SEI&SPDH, Section (Irkli and Demirbilek, 2000)

**Çukurova University Solar House-UZAYMER:** Çukurova University Solar House was constructed in 1981 in Adana. Passive systems are employed in the building where a Trombe wall and a greenhouse are erected on the southern façade. Solar energy and biogas are utilized in the building for air conditioning and a hot water supply. Studies carried out in 1981-1982 indicated that these systems provide a high percentage of the total building's thermal energy requirement even in the winter. The building was repaired in 1991 and renamed the UZAYMER. It is now used for research studies on solar energy, astronomy, and astrophysics and as a training center (Photograph 4) (Irkli and Demirbilek 2000; CU SH-UZAYMER).



Photograph 4. Çukurova University SH-UZAYMER (Çukurova University Solar House-UZAYMER)

**Hacettepe University Solar House-YETAM:** The Hacettepe University Solar House and garden was constructed in 2003 in Ankara. Solar panels of 1.5 kW<sub>p</sub> capacity were installed and the entire electricity requirement of the building is supplied by these panels, with the aid of batteries and convertor (Hacettepe

University Solar House). A special glass surface installed on the inclined southern wall collects solar energy, which is stored as heat in the storage unit located in the basement gravel bed and utilized for heating in the building. The studies for the Solar House were initiated in 1993 with funding from Hacettepe University Research Fund, but it was completed in 2003 by individual efforts and initiatives. The building is presently used by YETAM of Hacettepe University as an experimental research center on renewable energy for graduate studies (Photograph 5) (Hacettepe University Solar House; Sugözü and Sarsılmaz, 2006).



Photograph 5. Hacettepe University SH and Garden (a.b.Hacettepe University Solar House)

**Erciyes University Solar House:** Erciyes University Solar House was constructed between 1993 and 1997 in Kayseri (Bozdoğan, 2003). Scientific studies on clean and renewable energy resources solar being the foremost was initiated in 1993 in Erciyes University, and the Energy Conversion Research and Application Centre was established to coordinate the studies. A hot air collector is installed on the roof. The surplus thermal energy is stored in water and utilized when needed (Altuntop,



2008: 6). Floor heating is provided by plastic pipes placed in a 28 m<sup>2</sup> section on the ground floor of this building. In this system, 8 liquid-medium solar collectors, each 12.8 m<sup>2</sup>, and a 175 m<sup>2</sup> air collector were used for heating the Solar House. Floor heating is provided in a 30 m<sup>2</sup> section of the building, using the energy captured by the liquid-medium solar collectors (Sugözü and Sarsılmaz, 2006). There are no blinds or other measures in the building; consequently, overheating is a problem in the summer. The building is presently used as a laboratory for research on solar energy and a service building for the Energy Conversion Research and Application Centre (Photograph 6) (Figure 7, 8).



Photograph 6. Erciyes University SH (Arşan Durmuş, 2008)

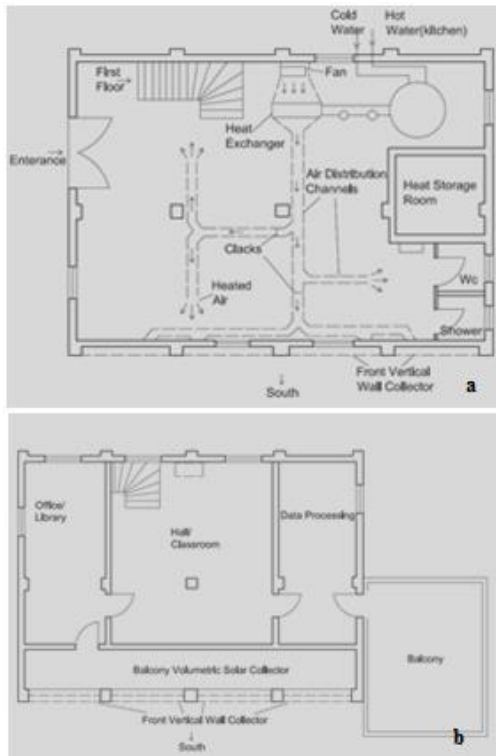


Figure 7. Erciyes University SH Plan (Altuntop, 1996)

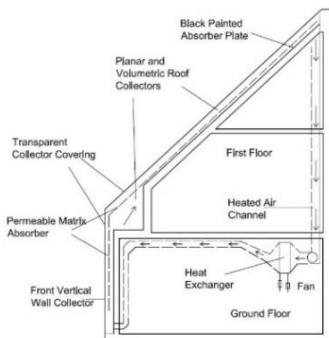


Figure 8. Erciyes University SH Section (Altuntop, 1996)

**The Guesthouse and National Observatory of TUBITAK:** This building was constructed as a passive solar house in 1996 in Antalya (Altuntop, 2008: 6). The building (Bozdoğan, 2003) is used as a research center, also provides accommodation for the personnel. The building is insulated and buried in the ground on the northern façade, a Trombe wall is built on the southern façade. Windows on the southern wall and a greenhouse at the ground floor on the southern façade are included in the design. To prevent overheating in the summer, air vents placed beneath the greenhouse are used to bring in fresh air, and hot air is let out via the roof hatch. On the southern façade, solar collectors are installed with a total area of 146 m<sup>2</sup>; 34 m<sup>2</sup> of which is on the vertical wall surfaces, 19 m<sup>2</sup> is placed at 45° inclinations on the roof, and 93 m<sup>2</sup> is planar. These solar collectors generate hot air that is used for heating in the building. When the heating requirement is low, the surplus heat is stored in the heat storage room that has gravel beds at the ground floor. On the second floor, the wall surfaces are painted black to gain more solar radiation (Bozdoğan, 2003). The building can meet its entire thermal energy requirement (Figure 9, 10) (Photograph 7) (Demirbilek, Şahmalı and İnanıcı, 1997b; Demirbilek et al, 2003).

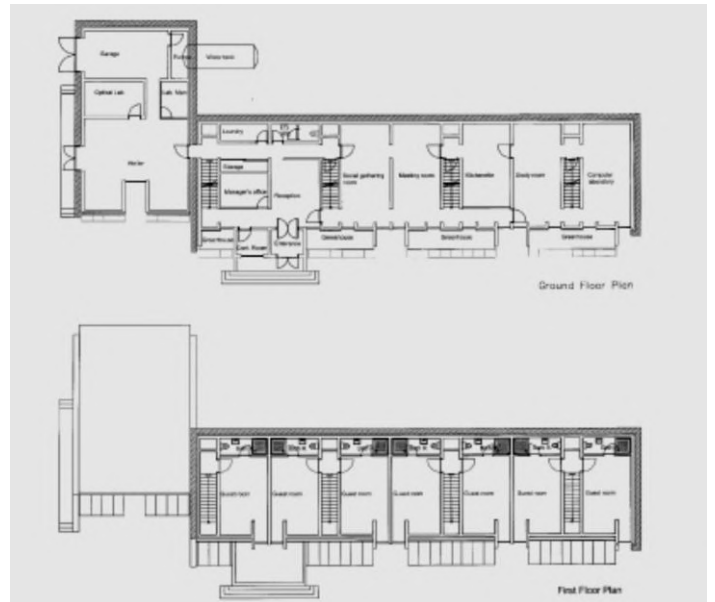


Figure 9. The Guesthouse and of National Observatory of TUBITAK, Plans (Demirbilek et al, 2003)

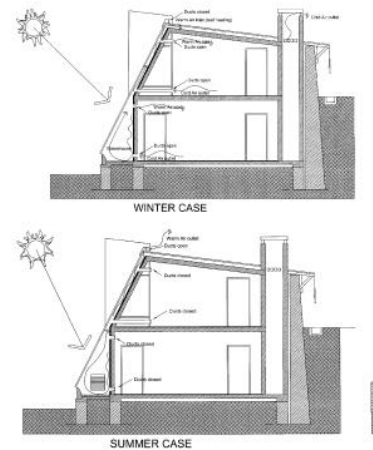


Figure 10. The Guesthouse and of National Observatory of TUBITAK, Sections (Demirbilek et al, 2003)



Photograph 7. The Guesthouse and of National Observatory of the TÜBİTAK (The Guesthouse and National Observatory of TÜBİTAK)

**Energy Efficiency Training Facility:** It was constructed in 2006 in Ankara with the purpose of utilizing renewable energy resources, using energy effectively and efficiently, and exhibiting the implementation in an exemplar building (Energy Efficiency Training Facility a). The systems employed in the building are high-level heat insulation, solar and geothermal (ground source heat pump) energy systems, fiber optic lighting system, daylight control system, natural lighting, and composite wall applications for heating/cooling. On the southern façade, an 84 m<sup>2</sup> solar wall and a sunroom are installed. The air heated by the solar wall and the sunroom is distributed by an induced system via ventilation ducts. Hot water is supplied using solar collectors with vacuum pipes. The building was used for training and research until 2013; presently it is not in active use (Photograph 8) (Energy Efficiency Training Facility).



Photograph 8. Energy Efficiency Training Facility (Energy Efficiency Training Facility)

**Pamukkale University Clean Energy House:** The project for the Pamukkale University Clean Energy House was initiated in 2006 and was carried out by public-private collaboration and supported by TÜBİTAK, DPT, Miami University, Nexans Cable, and Bereket Energy. This building within the campus of Pamukkale University was completed in 2007. It was built with a high level of insulation to assure low energy consumption; it is the first solar house in Turkey to generate its own energy and built as a laboratory. Solar energy is utilized for heating, and solar energy and hydrogen are used to meet the electricity requirement. A system comprising 40 m<sup>2</sup> collectors (2.5-kW<sub>p</sub> fixed PV panels) provides hot water and floor heating. Electrical energy is generated by the solar panels, and the charge

regulators, batteries, and convertor are included in the system that provides electricity to the building. The surplus electrical energy is used to generate hydrogen by electrolysis of water. The hydrogen is stored in 6 metal hydride tanks; it is used to generate electricity when needed (Yılmaz Ulu, 2010). Thus, the energy requirement of the building is supplied in an environmentally-friendly way by using the stored hydrogen. Trombe walls on the southern façade (Altuntop, 2008: 6) provide heating in the winter and natural ventilation in the summer. During the day, electricity is provided directly by the 5 kW solar batteries and by the panels they are installed on. The hot water obtained using the solar collectors are stored in insulated tanks, and the heat exchanger control unit maintains the required temperature. The hot water is used as an auxiliary system for heating in this building (PU CEB). In the Clean Energy House, the sun, water, and earth are utilized for heating and cooling, and the energy generated is used in industry. To date, no articles have been published on the heating, cooling, air conditioning, electricity, and hydrogen generation systems used in the Clean Energy House. Therefore, no data is available on the performance of the building. The building is presently used as an energy research laboratory (Photograph 9) (Yılmaz Ulu, 2010).



Photograph 9. Pamukkale University Clean Energy House (Pamukkale University Clean Energy House)

**ITU Eco-building:** The building is located by a pond within the Ayazağa Campus of ITU; it is part of the Nature-Environment-Science-Society Park Project. The building was designed by HAS Architecture, and the construction was coordinated by the Building Industry Centre. The purpose of the project is to demonstrate that it is possible to construct environmentally friendly buildings and to minimize energy use in constructed environments while improving the quality of life, and to provide a model building for the benefit of future architects and engineers (ITU Eco-building a). In line with this purpose, two laboratories, a multi-purpose hall, library, and offices for researchers are included in the eco-building. Another important feature of the building is that the design allows for visitors to view the functioning systems in the technical spaces. The building is oriented toward the southwest to maximize the use of solar energy, and built on a steep slope to minimize the excavation and the footprint of the building. The orientation and the compact form of the building thus minimize intervention into the natural environment (Figure 11).



Figure 11. ITU Eco-building (Istanbul Technique University Eco-building a; b)



Natural crushed rock tiles held together by plants were used instead of impervious tiles for landscaping and for walkways and roads to prevent the impairment of natural drainage. Colors and materials chosen to prevent the formation of heat islands that occur due to tiles warming up more than the surrounding natural areas, thereby adversely impacting the microclimate. Light colors were used for the building envelope and in the landscaping, reflective coating was used for the roof, and natural crushed rock tiles were preferred for the floors. In addition, shades were used in front of the building to balance the heat around the building. Alternative means of transport, such as cycling and electric vehicles were considered for commuting between the building and the campus to minimize pollution and adverse impacts arising from vehicle use. Bicycle parking space and vehicle charging stations were planned. Limited parking space, with priority for the handicapped, was provided to discourage vehicle use. The natural vegetation was preserved in the landscaping, and low maintenance plants that do not require irrigating were used in the terraces. Water fixtures with sensors and two-stage reservoirs were used in the eco-building to conserve water. The plan was to store the rainwater collected from the roof in an underground tank near the building to be used in the reservoirs. The collected rainwater and the treated wastewater were planned to be reused. It was decided that the domestic wastewater is disposed of by natural methods by a septic tank located so that the infiltrating wastewater would not contaminate the existing pond. Furthermore, solid wastes are collected separately in the eco-building, considering their potential for recycling. The Eco-building Project was given the 2010 World Architecture Community award. The Eco-building project team adopted the LEED certificate system. This building is probably the first in Turkey to implement these features. The energy strategy for the Eco-building aimed to minimize the dependence on fossil fuels and the emission of greenhouse gases. It was planned to have a low consumption of locally generated energy: no boilers or air conditioners were employed for heating, cooling, or ventilation. Heating, cooling, or ventilation was provided by fresh air inlet and heat pump, and the building envelope was designed to Passivhaus Institut standards (Istanbul Technique University Eco-building b). Alternative heating and cooling is provided, depending on the season, using the heat from the serpentine-tiled pond near the building.

The materials used in the Eco-building were chosen considering their energy requirements and greenhouse gas emissions throughout their life cycle. To the extent possible, locally available, recyclable, environmentally friendly materials were preferred. Woodwork and heat-insulated double-glass were used. Heat build-up in the building envelope was prevented. Both active and passive systems such as PV panels, solar thermal collectors, heat pump, earth-tube, Trombe wall, wind turbines were used. The building was designed to feed the surplus energy generated by the PV panels and wind turbines to the distribution grid of the campus. The purpose was to maintain that the difference between the amount of electrical energy fed to the grid and used from the grid is zero. The Eco-building was also planned to collect the rainwater from the building and to reuse the treated wastewater. Considering the birds near the pond, vertical axis wind turbines were preferred because they are quiet and can operate at low wind speed. The building generates more electricity than it uses from the campus grid, and therefore

the grid is used like a storage system. Low-energy lighting fixtures were preferred in the Eco-building to minimize energy consumption, and systems were installed to measure the intensity of natural light and to maintain constant lighting. High-efficiency, grade A electrical appliance were also preferred in the building. The provision of data on the energy systems, their operation, monitoring and reporting were considered because the Eco-building is used as a research center. Software designed specifically for the Eco-building records in-house and makes available via the internet, data such as the building's energy generation and consumption, indoor and outdoor temperature, and humidity. This database is used to evaluate the performance of the building and the installed systems (Istanbul Technique University Eco-building b).

**Diyarbakır Solar House:** It was designed by architect Çelik ERENGEZGİN and constructed in 2007 by EU funding along with sponsorships from 72 companies and it came into service in 2008. In this building, lighting and electrical appliances such as computers and refrigerators are operated by solar energy. Domestic wastewater is treated by biological treatment with 90% to 95% efficiency and reused for garden irrigation. Rotating biological contactors, which are circular disks on which bacteria attach and grow, are used to treat the domestic wastewater. An advantage of this system is the elimination of odors and noise problems (Diyarbakır Solar House a). In addition, solid waste from the house is utilized as fertilizer. Rainwater is collected from the roofs, stored, and used for garden irrigation (Diyarbakır Solar House b). It is used as a scientific laboratory that publishes information on the energy systems used and the measurement data on a dedicated website 24 hours per day. All energy requirements in the building, including heating, cooling, and lighting, is supplied by solar energy (Altuntop, 2008: 6). A total of 3.88 kW power is generated in the solar house using 24 PV solar panels of 162 W. Two solar collectors on the roof and a special hot water tank in the basement supply hot water to the building (Sugözü and Sarsılmaz, 2006). A sunroom and a solar wall are erected on the southern façade. Subterranean energy is also utilized to provide natural cooling in the building (Photograph 10) Diyarbakır Solar House c).



Photograph 10. Diyarbakır Solar House (Diyarbakır Solar House a, b, c, d)

## **2.4. Comparison of the Solar Houses in Turkey**

Information is provided on their location, size and designer/contractor/sponsor, and each solar house is discussed in terms of their original and present uses and functions in Table 2.



Table 2. Solar houses implemented in Turkey

		Date of construction	Place of construction	Total area	Architect/Constructor	Function
METU SH		1975-1980	Ankara	96.6 m <sup>2</sup>	METU Dept. of Architecture, METU Faculty Member Society	Solar house METU Faculty Member Society Office (suggestion of museum function)
EU SEI&SPDH		1978-1986	İzmir	9000 m <sup>2</sup>	Ege U.	Education and research
CU SH (UZAYMER)		1981	Adana	125 m <sup>2</sup>	Çukurova U.	Education and research
HU SH (YETAM)		1993-2003	Ankara	100 m <sup>2</sup>	Hacettepe U. Research Fund, New and Clean YETAM	Education and research
EU SH		1994-1995	Kayseri	154 m <sup>2</sup>	Prof. Dr. N. ALTUNTOP & Dr. Y. TEKİN, Erciyes U.	Education, research Energy Conversion Research and Application Centre
G&NO TUBITAK		1996	Antalya	720 m <sup>2</sup>	TUBITAK, Energy and Building Research & Consulting A.Ş., METU Department of Architecture	Research, accommodation
EETF		2006	Ankara	275 m <sup>2</sup>	Ministry of Energy, EIEII and Heating, Water, Sound and Fire Isolation Society, IZODER	Education, research (it is not active now)
PU CEH		2006-2007	Denizli	165 m <sup>2</sup>	DPT, Nexans Cable, Siemens and Bereket Energy	Education, Research laboratory
ITU E		2008	İstanbul	500 m <sup>2</sup>	HAS Architecture, ITU, YEM	Education, research
DSH		2008	Diyarbakır	120 m <sup>2</sup>	Ç. ERENGEZGİN, EU Fund, local government and with 72 institution	Education, research

It shows the active and passive systems employed in the solar houses Table 3. Ege U. SEI&SPDH, Çukurova U. Solar House, and the Guesthouse and National Observatory of TUBITAK employ only passive systems, Erciyes U. Solar House employs only active systems, and the others employ both active and passive systems. It shown the solar houses are

compared and evaluated in terms of the design criteria considered such as location, suitability with the physical environment, heating, cooling, ventilation and air conditioning; also lighting, material conservation, etc. in Table 4. It has been stated to what extent the solar houses implemented in Turkey meets these design criteria.

Table 3. Active and passive systems used in the solar houses in Turkey

	Passive Systems Used	Active Systems Used
METU SH	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Heat insulation on walls, floors and the roof</li> <li>▪ Windbreak on the northern façade, double-glass</li> <li>▪ Winter garden on the southern façade</li> <li>▪ Heat storage system</li> <li>▪ Southern apertures</li> <li>▪ Air heater solar roof</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Collectors</li> <li>▪ Cylindrical hot water tank</li> <li>▪ Radiators</li> </ul>
EU SEI&SPDH	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Winter gardens on the southern façade</li> <li>▪ Double-glass wall</li> <li>▪ Sunrooms with 45° inclined roofs</li> <li>▪ Roof gardens</li> <li>▪ Insulation on the northern façade</li> </ul>	-
CU SH-SER&AC (UZAYMER)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Trombe wall on the southern façade</li> <li>▪ Air conditioning using solar energy and biogas</li> <li>▪ Greenhouse on the southern façade</li> </ul>	-
HU SH-N&CERC (YETAM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inclined southern wall</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Solar batteries</li> <li>▪ Parabolic dish (concentrator)</li> <li>▪ Solar-powered drying closet</li> <li>▪ Solar-powered water pumping system</li> <li>▪ Solar-powered distillation apparatus</li> <li>▪ Solar cookers, solar ovens</li> <li>▪ Heat storage (gravel bed)</li> </ul>
EU SH	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hot air collector mounted on the roof</li> <li>▪ Floor heating</li> <li>▪ Floor heating with water based solar collectors</li> <li>▪ Air collector</li> </ul>
GNO TUBITAK	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Trombe wall on the southern façade</li> <li>▪ Sunroom on the southern façade</li> <li>▪ Air vents placed beneath the greenhouse on the southern façade</li> <li>▪ Black walls for gaining higher radiation</li> </ul>	-
EETF	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Solar wall and sunroom on the southern façade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Energy systems with solar energy, geothermal</li> <li>▪ Fiber optic lighting system,</li> <li>▪ Day light control system</li> <li>▪ Composite wall applications for heating/cooling purposes</li> <li>▪ Solar collectors with vacuum pipes</li> </ul>
PU CEH	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Trombe walls on the southern façade</li> <li>▪ Floor heating</li> <li>▪ Hot water supply by solar collectors</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Solar batteries and PV panels -</li> </ul>
ITU-E	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Winter garden on the southwestern façade</li> <li>▪ High-insulation and air-tight building envelope</li> <li>▪ Earth-tube</li> <li>▪ Trombe wall</li> <li>▪ Access alternatives</li> <li>▪ Septic tank</li> <li>▪ Reuse of rainwater and wastewater</li> <li>▪ Rainwater storage and pumping system</li> <li>▪ Low-maintenance vegetation cover</li> <li>▪ Environmentally-friendly materials</li> <li>▪ Indoor air quality</li> <li>▪ Insulation on the exterior walls, interior walls, floors and the roof</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Heat pump</li> <li>▪ Wind turbine</li> <li>▪ Solar thermal collectors</li> <li>▪ Alternative heating-cooling</li> <li>▪ PV panels</li> </ul>
DSH	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sunroom and solar wall on the southern façade</li> <li>▪ Biological treatment of domestic wastewater</li> <li>▪ Reuse of rainwater and wastewater</li> <li>▪ Rainwater storage and pumping system</li> <li>▪ Hot water supply by solar collectors and hot water storage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Heat pump</li> <li>▪ Wind turbine</li> <li>▪ Solar thermal collectors</li> <li>▪ Alternative heating-cooling</li> <li>▪ PV panels</li> </ul>

Table 4. Design criteria considered in the solar houses in Turkey

-+ Partially considered in the design - Not considered in the design + Considered in the design x Not present

	METU SH	EU SEI&SPDH	CU SH-SER&AC	HU SH-N&CERC	EU SH	GNO TUBITAK	EETF	PU CEH	ITU-E	DSH	
Location, suitability physical environment data	Location and orientation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Land use	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Building form	+	+	-+	+	+	+	+	+	+	
	Building envelope: choice of colour for the building envelope	+	+	-+	x	+	+	-+	-+	+	-+
	Landscape decisions for the perimeter of the building	+	-+	-+	-+	x	-+	-+	-+	+	-+
	Vegetation cover	+	+	x	x	x	x	x	-+	+	-+
	Floor covering in the perimeter of the building	+	+	-+	-+	x	x	-+	-+	+	+
Heating-Cooling-Ventilation-Air Conditioning-Lighting	Utilization of solar energy for heating	-	+	+	+	+	+	+	+	+	
	PV panels/hot air collectors	+	+	-	+	+	-	+	+	+	
	Use of solar thermal collectors	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	Use of heat pumps	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+
	Use of heat storage vessels	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-
	Earth-tube	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	Trombe wall	-	-	+	-	-	+	+	+	+	-
	Double-glass wall (transparent wall)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	Winter garden on the southern façade	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
	Greenhouse on the southern façade	-	+	+	-	-	+	-	+	+	+
	Creating a buffer zone on the northern façade	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	Air heater solar roof	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Floor heating	+	-	-	-	+	-	+	+	-	-
	Wind turbine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Utilization of solar energy for water heating/water tank	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+
	Utilization of solar energy for cooling	-	+	-	-	-	-	-+	+	+	+
	Utilization of solar energy for drying	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
	Utilization of solar energy for ventilation-air conditioning	-	-	-	-	-	-	-+	+	+	-+
	Natural ventilation/ air ducts	-	+	-+	-	-+	+	-+	-+	+	-+
	Heating-cooling with alternative methods	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	Wall insulation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Floor insulation	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+
	Roof insulation	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Use of double-glass/ double glazed glass/ low-e glass	+	+	+	-+	+	+	+	+	+	-+
	Choosing low VOC products for paints, adhesives, finishes and insulation materials	-	-+	-+	-	-+	-+	+	-+	+	-+
	Indoor air quality	-	+	-+	-+	-+	-+	+	-+	+	-+
	Natural lighting	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-+
Utilization of solar energy for lighting	-+	-+	-+	+	-+	+	-+	+	-	+	
Energy-saving lighting fixtures	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	
Use of Class A high efficiency electrical appliances	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	
Use of solar-powered electrical appliances	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	
Access	Alternative means for transportation	-	-	-	-	-	-	-	+	-+	
	Support for pedestrians instead of car use	-	-	-	+	-	-	-	+	-	
	Limiting car park capacity	-	-	-	-+	-	-	-	+	-	
	Use of solar energy in vehicles	-	-	-	+	-	-	-	-	-	
Material conservation	Use of environmentally-friendly building materials	-+	+	-+	x	-+	+	x	+	+	
	Use of fire-resistant materials	-	+	x	x	x	+	+	x	+	
	Choice of colour for indoor space	-+	+	+	+	+	+	+	+	-+	
	Use of easily cleanable, low-maintenance materials	+	+	-+	-+	-+	+	+	-+	+	
	Use of recyclable materials	+	-+	-+	x	x	+	-+	x	+	
Water conservation, drainage	Sewer system	-	-	-	-	-	-	-	+	+	
	Sewer system(packaged biological treatment)	-	-	-	-	-	-	-	-	+	
	Solid waste reuse	-	-	-	-	-	-	-	-	+	
	Wastewater	-	-	-	-	-	-	-	+	+	
	Rainwater utilization	-	-	-	-	-	-	-	+	+	
	Rainwater storage near the building	-	-	-	-	-	-	-	+	+	
	Utilization of rainwater for garden irrigation	-	-	-	-	-	-	-	+	+	
	Use of low-maintenance plants in landscaping	+	-+	-+	-+	x	-+	x	+	+	
	Wastewater/Rainwater use in reservoirs	-	-	-	-	-	-	-	+	-+	
Use of double-flow reservoirs	-	-	-	-	-	-	-	+	-+		
Data collection	Solar/Wind data collection system	-	-	-	+	-	-	-	+	+	
	Monitoring of data such as the electrical energy used in the building, indoor/outdoor temperature/humidity by software both in-house and over the internet.	-	-	-	-	-	-	-	+	-	

### 3. Results and Discussion

Energy is one of the basic elements of life cycle and is necessary for the continuity of life. It has been demonstrated that natural resources, which are essential for sustainability of life and the environment for future generations, are exhaustible and threatened by overuse. Global warming poses a threat for mankind, and natural resources are threatened by pollution. These important problems need to be dealt with on a local, regional, and global scale; the solutions need to be sought by developing national and international policies and cooperation. Environmental conservation and prevention of environmental pollution can be achieved by adopting policies such as utilization of renewable energy resources.

Turkey has the advantage of a favorable geographical location; however, solar energy is not sufficiently employed in Turkey in buildings and its implementation is limited to a few examples. Solar energy is most commonly used for supplying hot water in Turkey; however, the utilization of solar energy for heating, cooling, ventilation, and air conditioning of buildings is not yet widespread. In addition to the existing legislation on efficient use of energy, Turkey has adopted, as part of the harmonization with EU legal framework, the "Law on Energy Efficiency" in 2007 (Law of Energy Efficient, 2007) and the "Regulation on Energy Performance of Buildings" in 2008 (Regulation of Energy Performance in Building, 2008). The newly adopted regulation is comprehensive and aims to improve the energy efficiency of buildings. The implementation, however, has generally been for new housing projects rather than existing buildings. The main reason for this situation is the generally poor quality of insulation in Turkey and the use of inadequate insulation materials and substandard workmanship (Turkish Standardization Institute Standard Number: TSE 825, 2008). This results in high levels of energy loss in existing buildings, which is difficult to make up for using solar energy alone. The high initial investment cost of solar energy also prohibits its widespread use.

The findings from the review of the solar houses are as follows:

- The comparison of the solar houses in Turkey revealed that buildings constructed to date utilize solar energy for heating, cooling, ventilation, and air conditioning, and that the quality of these buildings has improved over time. Among the solar houses for which thermal performance measurements are available, the buildings in Adana, İzmir and Diyarbakır, all of which are in areas with a warm climate, have the highest performance levels.
- Active systems required about 10% to 50% higher initial investment cost than passive systems. The buildings that employ active systems, on the other hand, have 20% to 30% higher thermal performance than those that have passive systems (Altuntop, 2008: 6). Although the initial investment cost is high, active and passive systems should be used together in examples where solar energy is used, and such structures should be encouraged.
- Passive solar systems can be employed directly by the designers during the design, without any installation requirements. However, it has been observed that storage of solar radiation is not very efficient during summer-winter and day-night fluctuations.

### 4. Conclusions and Recommendations

The recommendations are as follows:

- Since passive energy systems are not very efficient in storing solar radiation in summer-winter and day-night fluctuations, it is recommended to carry out studies to improve the performance of these systems.
- It has been observed that it takes a long time, even in the summer, to store the heat generated by greenhouses, winter gardens, and solar walls in the solar houses that employ passive systems. Therefore, it is recommended that fans are included in these systems to ensure faster heat transfer in the buildings (Altuntop, 2008: 6).
- It is promising that an increasing number of buildings that are in active use, like shopping malls, airports, factories and hospitals, utilize solar energy, even though only a few are constructed as solar houses. Active systems and photovoltaic panel applications are generally used in such structures. Utilization of solar potential is generally limited to the production of hot water. Effort should be made expand applications for ventilation and air conditioning in areas with relatively low solar energy potential.
- Public awareness has been raised by media coverage of topics such as thermal loss from buildings and its consequences with respect to the cost of building maintenance. Engineering and architecture departments of universities offer theoretical and applied courses on the utilization of renewable energy resources and solar energy applications. Considering the importance of the subject, it is very important that the applications are not limited to the applications made by academic circles and that the examples are widespread and reproduced in the building production process. In this context, especially in region with high solar energy potential, applications should be expanded and adapted to current housing practices.
- Studies have been initiated to determine the energy consumption of new buildings and to issue Energy Identity (Performance) Certificates. Exterior thermal sheeting and insulation works have become widespread in existing buildings. These are applications that benefit from applications applied by using solar energy. Programming and design for use in use of solar energy should be developed, can be specially designed and designed in the project.
- Simulation software (BEP-TR, Vaillant) has come into use to calculate energy consumption of buildings and prevent heat loss.
- Although Turkey is a country with high solar energy potential, solar energy can not be utilized effectively and efficiently. In order not to be dependent on foreign energy in terms of energy the use of clean and renewable energy sources such as geothermal and wind energy other than solar energy should be encouraged. Before using solar strategies in the design and redesign process of houses, the subject should be supported with economic feasibility reports and engineering analyzes, and then the house owners should be informed about the suitability of solar technologies (Atiol, Abbasoğlu and Nowzari, 2013).
- In recent years, low-energy or net-zero energy building design, in which on-site solar energy collection and efficiency measures are used together, is one of the issues that is considered and discussed by other actors in construction sector as well as in the discipline of architecture. It is recommended y-that such structures, which will be realized by evaluating building energy simulations by experts, should be increased numerically. It is recommended to develop design tools to provide energy and



clean-energy designs and to draw conceptual and guiding framework for designers. Passive solar energy houses applied with traditional methods cannot provide sufficient feedback to the designer in case of changing design parameters. For this reason, it will prepare the environment for obtaining more accurate results in a shorter time in terms of questioning the performance results ensuring energy efficiency with simulation programmes (Brien, Athienitis and Kesik 2009).

Research and development studies on the utilization of solar energy in buildings must be given priority. Legislation, incentives and funding must be made available for solar architecture.

## References

- Akdeniz, H. A. (1989). Economic Analysis of Alternative Decisions in Optimum Building Heating System Selection. Unpublished Ph. D. Ege University Institute of Solar Energy. Izmir Turkey.
- Alparslan, B., Gültekin, A.B. and Dikmen, Ç.B. (2009). Ekolojik Yapı Tasarım Ölçütlerinin Türkiye'deki Güneş Evleri Kapsamında İncelenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS '09), 13-15 Mayıs Karabük. [http://iats09.karabuk.edu.tr/press/bildiriler\\_pdf/IATS09\\_08-99\\_982.pdf](http://iats09.karabuk.edu.tr/press/bildiriler_pdf/IATS09_08-99_982.pdf), 15.01.2021
- Alparslan, B. (2010). Ekolojik Yapı Tasarım Ölçütleri Kapsamında Ankara'da Örnek Bir Yapı Tasarımı ve Değerlendirmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Altıntop, N. (1996). Erciyes University Solar House. *Journal of Building*. 177/8. pp. 43-45.
- Altıntop, N. (2005). *History of Solar Energy in Turkey, in the 50-Year History of the International Solar Energy Society and its National Sections*, (Chapter), Böer, K.W., Eds., International Solar Energy Society Newyork, pp. 437-454.
- Altıntop, N (2008). Investigation of Technical and Thermal Properties of Solar Houses in Turkey, *New Energy*, p. 6, Turkey.
- Arsan Durmuş, Z. (2008) Sustainability Architecture in Turkey, *Journal of Architecture*. 340 <http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=290&RecID=1701> 22.06.2021
- Atikol, U., Abbasoğlu, S. and Nowzari, R. (2013), International Journal of Energy Research, Special Issue on Clean Energy Technologies, [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/er.3025?casa\\_token=](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/er.3025?casa_token=) 15.11.2021
- Bekar, D. (2007). Analysis of Active Energy Systems in Ecological Architecture. Unpublished M.Sc. Thesis. Yıldız Teknik University, Institute of Science and Technology. Istanbul Turkey.
- Benli, H. (2016). Potential Application of Solar Water Heaters for Hot Water Production in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, p. 99-109. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211501031X>, 08.05.2021.
- Bozdoğan, B. (2003). Architectural Design and Ecology. Unpublished M.Sc. Thesis. Yıldız Teknik University. Institute of Science and Technology. Istanbul Turkey.
- Brien, Athienitis and Kesik (2009) The Development of A Solar House Design Tool 11. International IBPSA Conference Glasgow, Scotland
- [https://pbs.daniels.utoronto.ca/faculty/kesik\\_t/PBS/Kesik-Papers/The-development-of-a-solar-house-design-tool.pdf](https://pbs.daniels.utoronto.ca/faculty/kesik_t/PBS/Kesik-Papers/The-development-of-a-solar-house-design-tool.pdf) 15.11.2021
- Çukurova University Solar House-UZAYMER, <https://uzaymer.cu.edu.tr/>, 14.02.2017
- Delihasanlar, E., Yaylacı, E.K. and Dalcalı, A. (2019). Solar Energy Potential in the World and Turkey, Current Status, Incentives, Installation Cost Analysis-Karabuk Province Sample. *Electronic Letters on Science & Engineering* 15 (1) pp.12-20. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/else/issue/47861/590789>, 15.06.2021.
- Demirbilek, F.N., Yalçın, U.G., Ecevit, A. Özgümüş, M. (1997a). METU Solar House, *Proceedings of Solar '97, Sustainable Energy, 35<sup>th</sup> Annual Conference*, Canberra: Australian and New Zealand Solar Energy Society pp. 1-5. <http://eprints.qut.edu.au/4369/1/4369.pdf>, 03.06.2021.
- Demirbilek, F.N., Şahmalı, E. and İnanıcı M. (1997b). A Passively Climatised Building, 2500 m. above Sea Level, *The Proceedings of Solar '97*. Canberra: Australian and New Zealand Solar Energy Society.
- Demirbilek, F.N., Yalçın, U.G., Ecevit, A. Şahmalı, E. and İnanıcı M. (2003). Analysis of the Thermal Performance of a Building Design Located at 2465m: Antalya-Saklık National Observatory Guesthouse, Building and Environment. (38) pp.177-184
- Demircan Kılıç, R. and Gültekin, A.B. (2017). Binalarda Pasif ve Aktif Güneş Sistemlerinin İncelenmesi, *Turkish Science Research Foundation Journal of Tubav Science*. 10 (1) pp. 36-51
- Dikmen, Ç.B. and Gültekin, A.B. (2011). Usage of Renewable Energy Resources in Buildings in the Context of Sustainability, *Journal of Engineering Science and Design*, (1) 3, pp. 96-100. <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/sdumuhtas/article/view/1089001725>, 05.07.2013.
- Diyarbakır Solar House a, [www.ekoyapidergisi.org](http://www.ekoyapidergisi.org), 05.02.2021.
- Diyarbakır Solar House b, <https://v3.arkitera.com/h30516-diyarbakira-gunes-evi.html>, 15.06.2021.
- Diyarbakır Solar House c, [http://www.erengezgin.net/diyarbakir\\_fotolar.html](http://www.erengezgin.net/diyarbakir_fotolar.html), 22.01.2021.
- Diyarbakır Solar House d <https://www.google.com/search?sxsrf=ALeKk00JZnL6kAYJ-ICGvPnyJyJS1HVjpQ:1628332841961&source=univ&tbnm=isch&q=%C3%A7elik+erengezgin+g%C3%BCne%C5%9F+evi&sa>, 15.04.2021.
- Ecevit, A. and Demirbilek, F.N. (1994). Solar Energy Studies in the Middle East Technical University, *In Proceedings of the National Seminar on Turkish Solar Energy Activities and International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme Tasks*, Ankara.
- Energy Efficiency Training Facility <http://ordem.com.tr/index.php/proje/elektrik-isleri-etud-idaresi-genel-mudurlugu-sahasi/>, 22.01.2021.
- Eskin, N. (2006). Solar Energy Research and Development in Turkey, *Journal of Installation Engineering* 91. pp. 74-82. Turkey. <http://www.solar-academy.com/menuis/turkiye-de-gunes-enerjisi-arastirma-ve-gelistirme.032758.pdf>, 12.07.2021
- Google Images, Ege University Solar Energy Institute and Solar-Powered Drying House (2021).



- [https://www.google.com/search?q=ege+g%C3%BCne%C5%9F+enerjisi+enstit%C3%BCs%C3%BC&sxsrf=ALeKk03ZNHuVXuyVJmjFz\\_1aQoAuqrKQhQ:1628264528895&source=lnms&tbm=](https://www.google.com/search?q=ege+g%C3%BCne%C5%9F+enerjisi+enstit%C3%BCs%C3%BC&sxsrf=ALeKk03ZNHuVXuyVJmjFz_1aQoAuqrKQhQ:1628264528895&source=lnms&tbm=), 24.05.2021
- Göksu, Ç. (2008). Türkiye'deki İlk Sürdürülebilir Uygulama [http://www.mimarizm.com/makale/turkiye-deki-ilk-surdurulebilir-uygulama-odtu-gunes-ev-projesi\\_113587](http://www.mimarizm.com/makale/turkiye-deki-ilk-surdurulebilir-uygulama-odtu-gunes-ev-projesi_113587), 12.08.2016.
- Gültekin, A.B. and Alparslan, B. (2011). Ecological Building Design Criteria: A Case Study in Ankara, *Gazi University Journal of Science* 24(3), pp. 605-616, Turkey. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/83396>, 12.11.2016.
- Hacettepe University Solar House a, <http://www.yetam.hacettepe.edu.tr/>, 05.02.2021.
- Hacettepe University Solar House b [http://www.yetam.hacettepe.edu.tr/icerik/basin\\_2.jpg](http://www.yetam.hacettepe.edu.tr/icerik/basin_2.jpg) 16.04.2021
- Irklı, D. and Demirbilek, F.N. (2000). Architecture of the Anatolia Solar Energy, *III<sup>th</sup> National Clean Energy Symposium, Symposium Book*, V. 1, pp. 245-254. İstanbul. İstanbul Technique University Eco-building a, [http://www.hasmimarlik.com.tr/projeler/proje\\_frame.html](http://www.hasmimarlik.com.tr/projeler/proje_frame.html), 20.06.2021.
- İstanbul Technique University Eco-building b, <http://surdurulebilir-mimari.blogspot.com/2011/11/eko-yapi-projesi.html>, 05.02.2021.
- Kaygusuz, K. (2002), Environmental impacts of energy utilisation and renewable energy policies in Turkey Energy Policy 30 pp. 689-698 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421502000320>, 15.06.2021
- Keçel, S. (2007). Development of a Model for Meeting the Household Electricity Need with Solar Panels in Various Regions of Turkey, Unpublished M.Sc. Thesis, Gazi University, Institute of Science and Technology. Ankara Turkey.
- Law of Energy Efficient. (2007). [http://www.eie.gov.tr/verimlilik/document/EnVerKanunu\\_Mayis2011.pdf](http://www.eie.gov.tr/verimlilik/document/EnVerKanunu_Mayis2011.pdf), 12.08.1016.
- Ministry of Energy and Natural Resources MENR, (2001). General Energy Situation in Turkey. <http://menr.gov.tr> 21.07.2021.
- Ministry of Energy and Natural Resources MENR, (2001). General Energy Situation in Turkey. Solar Energy Potential <http://menr.gov.tr> 18.07.2021
- Ministry of Environment and Urban Planning, Energy Efficient Building Design Strategies, (2016) Editing: Ulukavak, G.,Ankara.
- <https://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler/ustmenu/ustmenu845.pdf> 15.11.2021
- Özdoğan, H.P. (2005). Investigation of Photovoltaic Panels Used in Building Shells in Ecological Buildings. Unpublished M.Sc. Thesis, Yıldız Technique University, Institute of Science and Technology. İstanbul Turkey.
- Öztürk, M. and Yüksel, Y.E. (2016). Energy Structure of Turkey for Sustainable Development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, pp. 1259-1272. <https://www.sciencedirect.com/science/journal/13640321/53> 10.06.2021.
- Philibert, C. (2005). The Present and Future Use of Solar Thermal Energy as A Primary Source of Energy, *Inter Academy Council*, p. 9. <http://philibert.cedric.free.fr/Downloads/solarthermal.pdf>, 27.06.2021.
- Pamukkale University Clean Energy House, Pamukkale U. Clean Energy House <http://tee.pau.edu.tr/photos.html>, 15.09.2016.
- Regulation of Energy Performance in Building. (2008). <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm>, 15.09.2018.
- Sugözü, İ. and Sarsılmaz C. (2006). Experimental Investigation of Indoor Heating with Air Solar Collector, *Firat University, Journal of Science and Engineering Sciences*, Turkey.
- Şık, A. (1994). In the Context of Heat Energy Evaluation of Urban Spaces Different Using Random Solar Energy. Unpublished M.Sc. Thesis. Gazi University Institute of Science and Technology. Ankara Turkey.
- Tayfun Y. (2007). Examination of Effects of Indoor Heating Using Solar Energy with Passive System Sample of İstanbul. Unpublished M.Sc. Thesis. Yıldız Technique University, Institute of Science and Technology. İstanbul Turkey.
- The Guesthouse and National Observatory of TUBITAK, <https://tug.tubitak.gov.tr/en/kurumsal/about-us>, 22.05.2021.
- TUIK Population Growth Rate in Turkey, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>, 10.06.2021
- Turkish Standardization Institute Standard Number: TSE 825. (2008). Thermal insulation requirements for buildings. [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/cf3e258fbd3eb7\\_ek.pdf](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/cf3e258fbd3eb7_ek.pdf), 15.09.2016.
- Uğurlu, A. and Gökçöl, C. (2017). An overview of Turkey's Renewable Energy Trend, *Journal of Energy Systems*. 1(4). Pp.148-158. 06.07.21.
- Yılmaz, Ulu, E. (2010). Experimental and Theoretical Energy, Exergy and Electromagnetic Analysis of Solar-Hydrogen Hybrid Energy System. Ph. D. Pamukkale University Institute of Science and Technology. Turkey, p. 126



# Experimental design for chemical mixtures: A case study on a molten salt system conductivity

Oğuz Akpolat<sup>1\*</sup>, Atila Göktaş<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Muğla Sıtkı Koçman University, Science Faculty, Chemistry Department, Muğla, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6623-4323), [oakpolat@mu.edu.tr](mailto:oakpolat@mu.edu.tr)

<sup>2</sup> Muğla Sıtkı Koçman University, Science Faculty, Statistics Department., Muğla, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7929-2912), [gatilla@mu.edu.tr](mailto:gatilla@mu.edu.tr)

(First received 11 August 2021 and in final form 16 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.981410)

**ATIF/REFERENCE:** Akpolat, O. & Göktaş, A. (2021). Experimental design for chemical mixtures: A case study on a molten salt system conductivity. European Journal of Science and Technology, (31), 55-60.

## Abstract

Experimental studies in many fields such as chemistry, biochemistry, food and environmental sciences require very well designed experimental strategies to achieve the best results at minimum cost. At this point experimental design means application of statistical methods to the selection of experimental process factors and to the modelling of system responses to them. Models in which experimental results are expressed depending on experimental factors are also called response surface functions. Mixture designs as a special type of response surface function are also a very effective method for determining the proportions of components in mixtures and are also of great importance in chemical industries like paint, food, glass, ceramic and polymer. Physicochemical properties such as thermal-physical properties, fusion enthalpy, heat capacity, density, thermal stability and conductivity for pure materials or their mixture can be determined experimentally by thermal analysis methods depends on their ingredients. In this study to design molten salt mixtures for thermal energy storage, computational thermodynamics approach has been applied on an experimental design sample. For this purpose conductivities of a molten salt system with three components were measured experimentally depending on the relative ratio of each component, and the effect of these ratios on the conductivity of the mixture was investigated. Here, mixture design model chosen for optimization of process parameters is Simplex Lattice, and Design Expert 700 software were used for statistical analysis. After the model selection for experimental design and transformation of the all factors, the correlation coefficients of the response surface function with linear, quadratic and cubic terms based on all factors for experimental measurements and pseudo and real factors were determined separately. Comparing with the others the best fit of the response surface function sufficient for optimization of process parameters to the experimental measurements was found out for that of with quadratic terms.

**Keywords:** Molten salt, Thermal-physical properties, Experimental design, Response surface

## Kimyasal karışımlar için deneysel tasarım uygulamaları: Ergimiş tuz sisteminin iletkenliği üzerine bir örnek çalışma

### Öz

Kimya, biyokimya, gıda ve çevre bilimleri gibi pek çok alanda deneysel çalışmaların minimum maliyette gerçekleştirilmesi ve en iyi sonuçlara ulaşılabilmesi çok iyi tasarlanmış deney stratejilerine ihtiyaç duyar. Bu noktada yapılacak deneysel tasarım, istatistiksel yöntemlerin deneysel süreç faktörlerine uygulanması demektir. Deneysel sonuçların deneysel faktörlere bağlı olarak ifade edildiği modeller de cevap yüzey fonksiyonu olarak adlandırılır. Özel bir cevap yüzey fonksiyonu türü olan karışım tasarımları da karışımlardaki bileşenlerin oranlarını belirlemede çok etkili bir yöntemdir ve boya, gıda, cam, seramik ve polimer endüstrilerinde büyük önem sahiptir. Burada yapılan örnek çalışmada termal-fiziksel özellikler, füzyon entalpisi, ısı kapasitesi, yoğunluk ve termal stabilite gibi özellikler termal analiz yöntemleri ile deneysel olarak belirlenebilmektedir. Yine buradaki örnekte termal enerji depolaması için yenilikçi erimiş tuz karışımları tasarlamak bu hesaplamalı termodinamik yaklaşımı uygulanmıştır. Bu amaçla, her bir bileşenin nispi oranına bağlı olarak iletkenliği deneysel olarak ölçülen sahip üç bileşenden oluşan bir erimiş tuz sistemi seçilmiş ve bu oranların karışımın iletkenliği üzerinde etkisi araştırılmıştır. Burada proses parametrelerinin optimizasyonu için seçilen karışım tasarım modeli Simplex Lattice olup, istatistiksel analiz yapmak için Design Expert 700 yazılımı kullanılmıştır. Deney tasarımı için model seçimi ve faktörlerin dönüşümü sonrasında, tüm faktörlere bağlı cevap yüzey fonksiyonunun doğrusal, ikinci dereceden ve kübik terimlerle korelasyon katsayıları ve sözde ve gerçek faktörler için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Optimizasyon için ikinci dereceden terimlere sahip cevap yüzey fonksiyonunun uyumu yeterli kabul edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ergimiş tuz, Termo-fiziksel özellikler, Deneysel tasarım, Cevap yüzey fonksiyonu..

\* Corresponding Author: [oakpolat@mu.edu.tr](mailto:oakpolat@mu.edu.tr)

### 1. Introduction

Today, studies in many fields such as chemistry, biochemistry, food and environmental sciences are carried out experimentally in laboratories for quality control, raw material and product analysis required for semi-finished and finished products. In order to perform these experimental studies at minimum cost and in optimum conditions, well-designed experimental strategies are needed. This is only possible with experimental design, and experimental design is based on the application of statistical methods to experimental process factors. These steps essentially constitute the experimental procedure followed, and this is to determine the number of experiments and experimental factor limitations for each study and to select a model and numerically analyze the optimization function to describe the correlation between the experimental results and factors. The response surface methodology reduces number of experimental trials required for multi-factor experiments too. Therefore, the function for response surface can be expressed in some linear or nonlinear models. Mixture design, a special type of response surface function, is a very effective method of determining the proportions of variables or components of a mixture, and it is frequently encountered in industries like paint, food, glass, ceramic, frits and polymers etc.. In chemistry, a mixture refers to any combination of the substances that make up it, while statisticians define it as a factor set whose sum is constant. For example, ingredients in a solvent system in HPLC or a product such as food or paint are considered a mixture, and each ingredient can be specified as a part, and the total varies from 1% to 100%. The response may be the separation constant for a food stuff test, while the conductivity may be the response of a molten salt mixture. A standard design approach is not suitable for mixture design types and can not be applied because the proportions are up to one. In this case, a mixture with q components is expressed by the following equation:

$$\sum_{i=1}^q x_i = 1 \quad 0 \leq x_i \leq 1 \quad i = 1,2,\dots,q \quad [1]$$

where  $x_i$  represents the ratio of the  $i^{th}$  component in the mixture. Q components form a regular (q-1) dimensional Simplex. Certain points need to be taken into account in selecting the appropriate mix design; these are the number of factors, the interactions to be studied, the complexity of each design, the statistical validity and effectiveness of each design, the ease of implementation and cost and time constraints associated with each design. Simplex-Lattice is one of the commonly used mix design types, and Simplex-Centroid design for A[k, m] is defined as follows:

$$N = \frac{(k + m - 1)!}{(k - 1)! * m!} \quad [2]$$

where k is the number of components, m is the highest order interaction and N is the total number of experiments. For a mixture design example identified by A [3,3] and shown in Figure e-ISSN: 2148-2683

1, only the test number is calculated by the formula N-m. The ratio of I to show any component in the design matrix created for a three-factor mixture is given for Sheff model with the following equation:

$$C_{i-real} = C_{i-coded} * (U_{i-coded} - L_{i-coded}) + L_{i-coded} \quad [3]$$

Here U and L are the upper and lower boundaries of the components, and the first step is to propose a mathematical model of this surface and to simulate it. Some linear or nonlinear models can be used as a function of the response surface. Here, a linear model without parabolic effects of three factors is given as an example. When the models are examined, only the linear (L) ( $x_i$ ), the quadratic (Q) ( $x_i * x_i$ ) and the cubic one are defined by (C) ( $x_i * x_i * x_i$ ).

$$y = b_0 x_0 + y_L + y_Q + y_C \quad [4]$$

where,

$$y_L = b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 \quad [5]$$

$$y_Q = b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 \quad [6]$$

$$y_C = b_{123} x_1 x_2 x_3 \quad [7]$$

Calculation of the coefficients in a mathematical model bases on another minimization process the sum of the differences between the responses from the model and their experimental values, and called the least squares method. The written optimization function for the response surface is as follows (Akpolat, 2016; Brereton, 2003; Buruk Sahin, et al., 2016; Coskun and Akpolat, 2012; DesignExpert v.7., 2005).

$$J = \sqrt{\sum_{i=1}^n d_i^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{i-experim} - y_{i-calcul})^2} \rightarrow Min \quad [8]$$

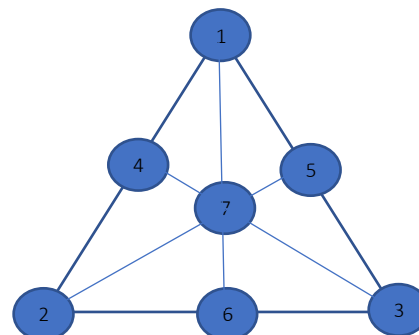


Figure 1. Three factor Simplex lattice design example

One of the application areas of mixture designs is molten salts and their different industrial uses. Molten salts form an important class of fluids for high temperature applications. Their simplest example is to liquefy sodium chloride to red by heating it to a temperature higher than 801°C. This liquid has the same volume

as water, stable as it has similar heat capacity and fluid like water. The major difference is the markedly high temperatures that can be obtained in molten salt form, and when salt solidifies, it loses volume unlike water and therefore freezing of molten salt does not burst the pipe like water. Salts are simply ionic and stable compounds. Sodium is one of the most electropositive substances and always one of the most electronegative for electron exchange is chlorine. These two oppositely charged substances easily combine to form stable sodium chloride via a strong ionic bond.

Solid sodium chloride does not conduct electricity; It is an insulator, if it is soluble in water it causes the mutual attraction bonds of both sodium (Na) and chlorine (Cl) to water molecules to break in it, dissolve and form charged atoms or molecules ions. These electrically charged ions can conduct electricity if there is a voltage potential. The "Downs Cell" takes advantage of this electrical conduction to produce almost all the metallic sodium the industry needs. Electricity is passed through molten sodium chloride (some calcium chloride salt is added to lower the melting point of sodium chloride). Chlorine gas is released at one terminal (anode) and liquid sodium at the other (cathode). Molten salt technology is an all-encompassing statement that includes many different technologies as electrochemistry or heat transfer in reactors. All these technologies are related to the general properties of molten salts: they act as a solvent and have good heat transfer properties like a fluid (water) heat capacity function, attain very high temperatures, conduct electricity, and have some catalytic properties.

Molten salts are also used in many industries as heat transfer media for high temperatures: most of them are non-ferrous metal aluminum, titanium production units, solar power towers, fuel cells, molten salt oxidation - coal gasification units, chemical weapons and nuclear reactors. Such technologies operate in the temperature ranges provided by molten salts due to their main properties: stability at high temperatures, low vapor pressure, liquid state over a wide temperature range, ability to dissolve many inorganic and organic compounds, generally low viscosity and high heat capacity per unit volume are the most important properties. For the correct design and sizing of heat exchangers and other auxiliary equipment, it is very important to have accurate data for the thermos - physical properties of the fluids used. Therefore, the data for these new mixtures need in the future.

The thermal-physical properties of eutectic salt mixtures such as fusion enthalpy, heat capacity, density, thermal stability and conductivity can be determined experimentally by thermal analysis methods. In this study, it focused on an experimental design application for conductivities of a molten salt system and statistical evaluation of the results for mixture design applications. For this purpose, a molten salt system having three components with measured conductivities experimentally was chosen to investigate the conductivity relationship the mixing ratio of each component by response surface methodology. Here, the mixture design chosen for the optimization of process factors was

Simplex-Lattice and DesignExpert 700 software was used for statistical analysis (Akpolat, 2016; <http://moltenSalt.org/whatIsMoltenSalt.html>, 2019; Li, et al., 2018; Nunes, et al., 2016; Özdemir, 2012).

## 2. Experimental and Methods

### 2.1. Use of a Constrained Mixture Design to Investigate the Conductivity of a Molten Salt System

The basic principles of the designs used for modeling chemical mixtures base on the composite design, illustrated by a three-factor example at the corner of the triangle shown in Figure 1. The first step of the design is to code the factors and it is always important to choose reasonable physical values for each of the factors. The central point of each factor is assumed to be 0.5 between 0 and 1, and the design is symmetrical around it. In the case of the mixture Simplex-Lattice design model, the three factors are the mixing ratios of the salts, namely (1) NdCl<sub>3</sub>, (2) LiCl and (3) KCl, and the response of the design is the conductivity of the molten salt measured depending on the mixing ratio of each component in % ( $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ). Here, the total number of experiments (N=7) was calculated by Equation 2 for A[k=3 and m=3]. The limits of the experimental study and the results of the experiments are given in Table 1 and Table 2. In the experiments, the value of 1 corresponds to the upper limit and 0 to the lower limit, supported by pseudo-components. (Akpolat, 2016).

Table 1. The boundaries of the experimental study

		Lower limit	Upper limit
$x_1$	NdCl <sub>3</sub>	0.2	0.9
$x_2$	LiCl	0.1	0.8
$x_3$	KCl	0.0	0.7

Table 2. The experimental results

$z_1$	$z_2$	$z_3$	Conductivity ( $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )
1	0	0	3.98
0	1	0	2.63
0	0	1	2.21
0.5	0.5	0	5.54
0.5	0	0.5	4.00
0	0.5	0.5	2.33
0.3333	0.3333	0.3333	3.23

Design Expert 700 software menu steps was followed for the optimization of mixing parameters of molten salts using a one-way Simplex-Lattice design (DesignExpert v.7., 2005). In the optimization procedure, the constrained mixing space was shown schematically by a triangle in the original mixing



space. In the real mixing space, a design matrix consisting of seven columns was produced, the actual composition of each component is  $Z1(U1-L1)+L1$ , where U and L are the upper and lower boundaries of the component. Using this equation, after transforming all three columns of the above matrix it was set up a design matrix containing three single-factor terms and two and three interaction terms using Sheffe model relating the conductivities to the ratios of the three salts, and statistically estimated the conductivities for different ratio of salts. The effects of the linear (L), quadratic (Q), and cubic (C) terms of the response surface function model on the optimization were compared.

### 2.2. Mixture Design Steps by Soft-Ware

Interface of the Design Expert program and Experimental Design data page for Simplex Lattice are given in Figure 2 and in Figure 3, mixture design steps carried out on the software named Design Expert 700 program are as follows:

1. Model selection by the soft-ware and introduction of the process factor limits and the process factors with responses measured experimentally given in Table 1 and Table 2 to the program.
2. Getting transformed process factors with responses in real and coded forms.
3. Determining of correlations for response surfaces with or without linear, quadratic and cubic terms of the model with factors given by Equation 4 statistically.
4. Simulation of the response surface and factors for optimization.

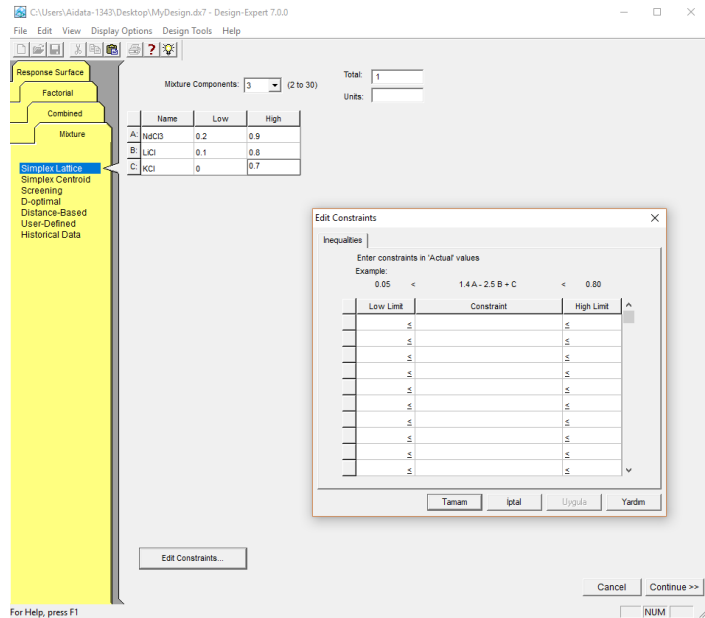


Figure 2. Interface of the Design Expert program for Simplex Lattice

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Limitations and Transformed Factors

Std	Run	Block	Component 1 A: NdCl3	Component 2 B: LiCl	Component 3 C: KCl	Response 1 Conductivity D-1 cm-1
1	6	Block 1	0.200	0.450	0.350	2.33
2	7	Block 1	0.433	0.333	0.233	3.23
3	5	Block 1	0.550	0.100	0.350	4
4	4	Block 1	0.550	0.450	0.000	5.54
5	1	Block 1	0.900	0.100	0.000	3.98
6	3	Block 1	0.200	0.100	0.700	2.21
7	2	Block 1	0.200	0.800	0.000	2.63

Figure 3. Experimental Design data page for Simplex Lattice

Following model selection by the soft-ware it was introduced the process factor limits and the process factors with responses measured experimentally given in Table 1 and Table 2 to the program for each run, transformed factors with responses by the soft-ware in real and pseudo forms were shown on Table 3 and Table 4. Comparing of the results of Table 1, Table 2, Table 3 and Table 4 it could be understood that all boundaries of mixture compositions and conductivities as response converted to new values in these forms. Examining the results, as the composition of NdCl3 salt were 0.2 and 0.9, of LiCl salt 0.1 and 0.8, of KCl salt 0 and 0.7, and as the conductivities of NdCl3 salt were 2.21  $\Omega$ -1 cm-1 and 5.54  $\Omega$ -1 cm-1 experimentally, transformed forms of all these values be rearranged among their upper and lower limits but the boundaries of all factors in pseudo form be rearranged between 0 and 1.

### 3.2. Statistically Evaluation

After the model selection, defined the process factor limits, the process factors with responses measured experimentally and transformed all parameters into design form by the soft-ware and then statistically evaluation was carried out. Calculated correlation coefficients of response surface function for with linear, quadratic and cubic terms and its parameters, function constants, one by one for pseudo and actual factors are given in Table 5. Examining the Table 5 it could be understood that as the correlation coefficient would be 0.55 for used linear terms only, adding quadratic terms into the function it increases to 0.92 drastically, but because of the over specified the function parameters for adding cubic terms be invalid. Simulation of response surface function with linear and quadratic terms for optimization was given on Figure 4 and Figure 5, respectively. Comparing Figure 4 and Figure 5 the correlation between the response surface function and the factors using the function with quadratic terms for optimization is more dependable according to that of the function with linear terms only.

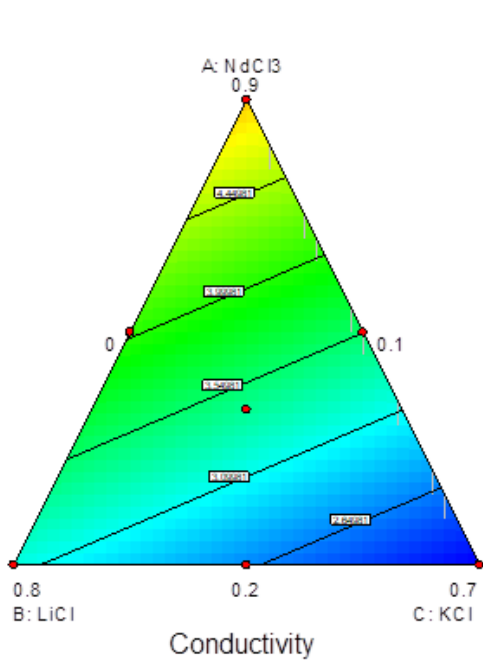


Figure 4. Simulation of response surface function with linear terms

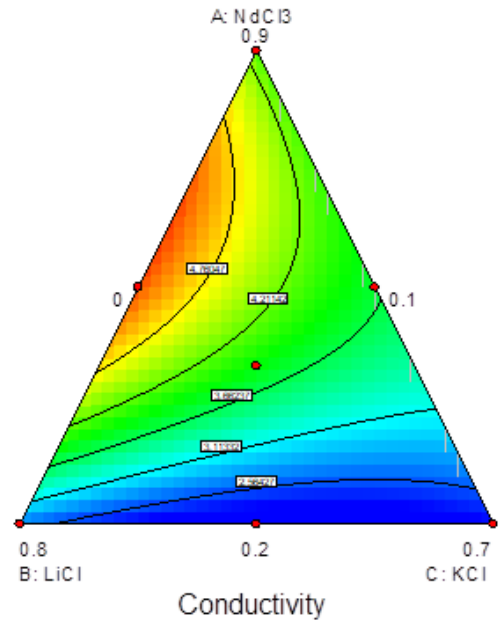


Figure 5. Simulation of response surface function with quadratic terms

Table 3. Transformed factors with responses in real form

			Com 1	Com 2	Com 3	Res 1
Std	Run	Blo	A:NdCl <sub>3</sub>	B:LiCl	C:KCl	Conduc
			%	%	%	D-1 cm-1
1	6	1	0.2	0.45	0.35	2.33
2	7	1	0.43	0.33	0.23	3.23
3	5	1	0.55	0.1	0.35	4
4	4	1	0.55	0.45	0	5.54
5	1	1	0.9	0.1	0	3.98
6	3	1	0.2	0.1	0.7	2.21
7	2	1	0.2	0.8	0	2.63

Table 4. Transformed factors with responses in pseudo form

			Com 1	Com 2	Com 3	Res 1
Std	Run	Blo	A:NdCl <sub>3</sub>	B:LiCl	C:KCl	Conduc
			%	%	%	D-1 cm-1
1	6	1	0	0.5	0.5	2.33
2	7	1	0.33	0.33	0.33	3.23
3	5	1	0.5	0	0.5	4
4	4	1	0.5	0.5	0	5.54
5	1	1	1	0	0	3.98
6	3	1	0	0	1	2.21
7	2	1	0	1	0	2.63

Table 5. . Calculated correlation coefficients and its parameters of response surface function for pseudo factors

Conduc.	Pseudo	Actual	Factors	R
<b>Linear Terms</b>	=	=		
	4.89981	5.149524	* A	0.55
	3.15181	2.652381	* B	
	2.19981	1.292381	* C	
<b>Quadr</b>				
<b>Terms</b>	4.052652	3.023146	* A	0.91
	2.702652	-0.43338	* B	
	2.282652	1.508057	* C	
	7.48697	15.27953	* A * B	
	2.16697	4.422387	* A * C	
	-1.81303	-3.70006	* B * C	
<b>Cubic</b>	Over	Over		
<b>Terms</b>	satisfied	satisfied	-	-
$y=b_0+ b_1x_1+ b_2x_2+ b_3x_3+b_{12}x_1x_2+ b_{13}x_{13}+b_{23}x_2x_3+b_{123}x_1x_2x_3$				
$A=NdCl_3=x_1, B=LiCl=x_2$ and $C=KCl=x_3$				

#### 4. Conclusion

Mixer design is a special type of response surface model and a very effective method of determining the proportions of variables or components in a mixture. As to salt mixtures, molten salts are used as high temperature heat transfer media in many industries. In this context, this study focuses on mixture design and statistically evaluation of its results as an example of experimental design applications. For this purpose, it was selected a molten salt system consisting of three components with conductivities experimentally to investigate the conductivity according to the relative proportion of each component. Here selected mixture design model for optimization of process parameters was Simplex Lattice and used software for statistically evaluation was Design Expert 700 program. After model selection and transformation, all factors and responses to the design, correlation coefficients of the response surface function in linear, quadratic and cubic terms, and pseudo and real factors were calculated. Comparing the correlation coefficients of the response surface functions having with different terms it is understood that the correlation coefficient

#### References

Akpolat, O., (2016), “*Experimental Design Methods with Practical Applications*”, Journal of ongoing Chemical Research Vol:2, Iss:2, 64-80.

Brereton, R. G, (2003), *Chemometrics: Data Analysis for thje Laboratory and Chemical Plant*, John Wiley & Sons Ltd., UK.  
 Buruk Sahin, Y., Aktar Demirtaş, E., and Burnak, N., (2016), “*Mixture design: A review of recent applications in the food industry*”, Pamukkale Univ. Muh. Bilim. Derg., 22(4), 297-304.  
 Coskun, B., Akpolat, O. (Advisor-Supervisor), (2012), *Experimental design and optimization of enzymatic removal for waste water textile color*, MSc thesis, BAP201250, - Funded by Muğla Sıtkı Koçman Uni. Sci. Res. Prj. Offic..  
 DesignExpert v.7., (2005), *Welcome to Help, Content*, Stat-Ease, Inc., Copyright ©2005.  
<http://moltenalt.org/whatIsMoltenSalt.html>, (2019), “*What are Molten Salts?*”, 26.08.2019.  
 Li, X., Wua, S., Wanga, Y., and Xiea, L., (2018), “*Experimental investigation and thermodynamic modeling of an innovative molten salt for thermal energy storage (TES)*”, Applied Energy, 212, 516-526.  
 Nunes, V.M.B., Queirós, C.S., Lourenço, M.J.V., Santos, F.J.V., and Nieto de Castro, C.A., (2016), “*Molten salts as engineering fluids – A review Part I. Molten alkali nitrates*”, Applied Energy, 183, 603–611.  
 Özdemir, D., (2012), *Kemometri Temel Eğitimi*, Ders Notları, Kimya Akademisi, Antalya.



# CBR Test Sonuçlarının Üç Eksenli Deney Sonuçları İle Korelasyonunun Değerlendirilmesi

Mehmet Orhan<sup>1</sup>, Ali Ateş<sup>2</sup>, Semih Şenkan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü-Teknikokullar Yenimahalle/ANKARA, (ORCID:000-0003-3927-0123), [orhanm@gazi.edu.tr](mailto:orhanm@gazi.edu.tr)

<sup>2</sup>Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty Of Engineering, Department Of Civil Engineering, Bolu, Turkey, (ORCID:0000-0001-6297-8571), [aliates@ibu.edu.tr](mailto:aliates@ibu.edu.tr)

<sup>3</sup>Yüksek Teknik Yapı Öğretmeni, Eskişehir, (ORCID:0000-0002-1493-2576), [senkansemih@gmail.com](mailto:senkansemih@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 20 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.983288)

**ATIF/REFERENCE:** Orhan, M., Ateş, A. ve Şenkan, S. (2021). CBR Test Sonuçlarının Üç Eksenli Deney Sonuçları İle Korelasyonunun Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 61-70.

## ÖZ

Bu çalışmada Ankara'nın Çukurambar semtinden alınmış yüksek plastisiteli kil ile farklı su içeriklerinde standart Proctor enerji oranında sıkıştırılarak hazırlanmış deney numunelerinin CBR değerleri ile drenajsız kayma dayanımı parametreleri arasındaki ilişki araştırılmaya çalışılmıştır. Bu nedenle yapılan standart Proctor deneyi ile zeminin optimum su içeriği ( $w_{opt}$ ) bulunmuştur. Kuru ve ıslak CBR deneyi şartlarının araştırıldığı çalışmada, ıslak CBR deneyi öncesi, zemin doymun hale getirilemediğinden doymunluk şartlarını temsil etmesi için optimum su içeriği, %10 artırılarak doymunluk yüzdesi ( $S_r$ ) yaklaşık %95'e, %10 daha artırılarak zemin doymunluk yüzdesi yaklaşık %98~%100 değerlerine yaklaştırılmış ve bu su içeriklerinde sıkıştırılarak şartlar sağlanmaya çalışılmıştır. Değişik su oranı içeriklerinde hazırlanmış deney gruplarından her birinden 4 adet ve toplam 12 numune üzerinde CBR deneyi yapılmıştır. Hazırlanan bu numunelerden yaklaşık 35 adet de üç eksenli basınç deney numunesi alınmış ve bu numunelere üzerinde drenajsız konsolidasyonsuz (UU) üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Deney sonunda, killi zeminlerde su içeriği, CBR ve drenajsız kayma dayanımı parametreleri arasındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** CBR, UU üç eksenli test deneyi, Ankara Çukurambar killeri

## Assessment of Correlation of CBR Test Results and Triaxial Test Results

### Abstract

In this study the relation between the parameters undrained shear strength and CBR values of sample prepared compacting at a different energy rates and in different water content of standard Proctor and modified Proctor test on the samples obtained from Çukurambar area in Ankara. For this reason, the optimum water content was found by the Standard and Modified Proctor test performed. In the study, in dry and wet conditions, before the wet CBR, as the test is not provided in saturated conditions, first the water content is increased at a rate of 10 percent of water to attain the 95 percent saturation and second the water content is increased at a rate of 10 percent of water to attain the 98 percent saturation conditions and then the conditions are supplied to attain compacting at these water rates. A total of 12 samples presenting the 4 samples for each kinds of soils were performed on CBR tests at different energy and water content rates. Approximately a total of 35 samples obtained from these sample prepared were conducted the three axial tests on the conditions that it is undrained unconsolidated environment. In the conclusion, the relation between CBR and undrained shear strength parameters were studied to reveal bounded variation of energy rates and water content rates in clayey soils in these conditions.

**Keywords:** CBR, UU triaxial compression test, Ankara çukurambar

\* Sorumlu yazar: [aliates@ibu.edu.tr](mailto:aliates@ibu.edu.tr)



## 1. Giriş

Ülkemiz coğrafi olarak deprem tehlikesi açısından riskli bir konumdadır. Bu nedenle zeminler üzerindeki yapıları güvenli bir şekilde taşıyabilmeli ve yeterli taşıma gücüne sahip olması gerekmektedir. Şayet üzerinde yapılması planlan zeminler yeterli düzeyde taşıma gücüne sahip değilse, zeminler değişik yöntemlerle iyileştirilmelidir. İyileştirme yöntemlerinin kontrol edilmesi aşamasında CBR yöntemi, özellikle yol yapımı uygulamalarında dünyada ve ülkemizde oldukça geniş ölçek de kullanılmaktadır [1]. Bu çalışma kapsamında Ankara ili Çukurambar semtinden alınan yüksek plastisiteli killere kompaksiyon ve drenajsız konsolidasyonsuz (UU) üç eksenli basınç deneyleri uygulanmıştır [2]. Bu konuda literatürde oldukça geniş çalışmalar mevcuttur. Türedi v.d. [3] “Çelikhane Cürufu Katkısının CBR Sonuçlarına Etkisini” Araştırılmışlardır. Bu çalışmada kullanılan cürufun doğal kil zeminlere eklenmesi durumunda kil zeminlerin CBR değerlerinde artış olduğunu ortaya koymuşlardır. Vural [4] yaptığı çalışmada inşaat enkaz ve yıkıntı atıklarının CBR deneyi ile taşıma gücüne etkisini araştırmıştır. Bu çalışma ile inşaat atıklarının taşıma gücünü artırdığını ve tekrar kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Erginer v.d.[5] atık lastik tozu ile CBR değerlerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma ile CBR deneyleri sonucunda, lastik katkının %20 oranlarına kadar zemine ilave edilmesiyle CBR değerini artırdığını ortaya koymuşlardır. Kök v.d. [6] “Çimento Stabilizasyonun Zeminlerin Esnek Üstyapı Maliyetine Etkisi” adlı çalışmasında çimento oranındaki artışın yumuşak zeminlerin hem taşıma gücünü hem de CBR değerini artırdığını belirtmiştir. Yaşar [7] uçucu kül katkısının killerin geoteknik özelliklerine etkisi ile ilgili çalışmasında uçucu külün zemin geoteknik özelliklerinin gelişmesinde ve CBR değerlerinde artışın olduğunu yaptığı tezinde belirtmiştir. Geçkil [8] karbon katkısı ile yaptığı zemin iyileştirme çalışmasında, karbon katkısının CBR değerinde artış meydana getirdiğini kaydetmiştir.

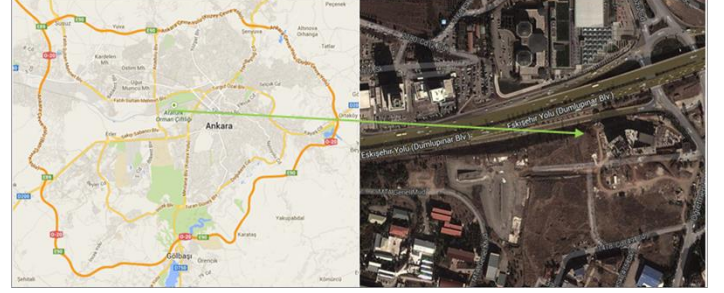
Burada kullanılan killi zeminlerin doymuş şartlara yaklaştıkça CBR değerlerindeki değişimleri ve bu değişimlerden zemin kayma dayanım parametrelerinin nasıl etkilendiğini görmek amacı ile zeminler, optimum su içeriğinde ve optimum su içeriğinin üzerindeki su içeriklerinde doymunluk yüzdeleri %98 ile %100 arasındaki değerlere getirilerek standart Proctor enerji oranında sıkıştırılmıştır [9]. Hazırlanan 12 adet numuneye CBR ve bu numunelerden alınan yaklaşık 35 örnek üzerinde üç eksenli basınç deneyleri yapılmış, bu iki deneyin sonuçları arasında korelasyon kurulmaya çalışılmıştır. Bulunan sonuçlar daha önce yapılmış benzer deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. İnceleme Alanının Tanıtılması

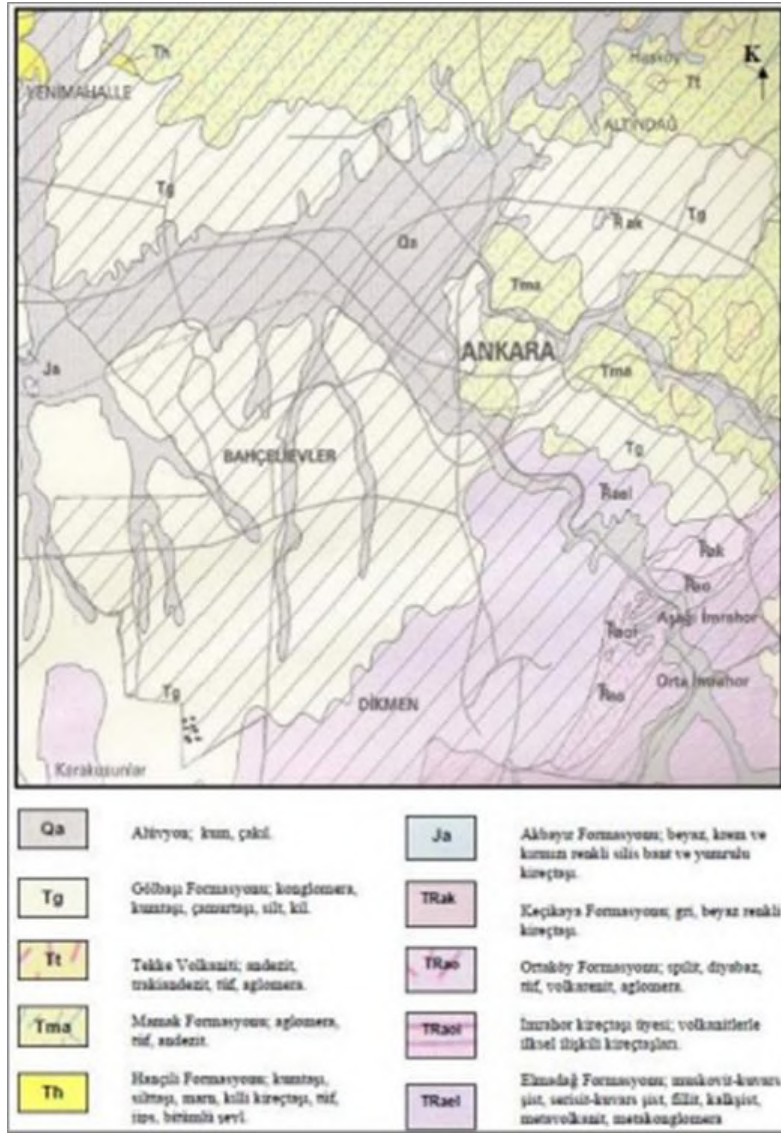
Bu çalışmada Ankara ili Çukurambar bölgesinden alınan yüksek plastisiteli kil numuneleri kullanılmıştır. Numunenin alındığı yer yer bulduru haritası Şekil 1’de verilmiştir. Ankara kilinde en çok görülen kil mineralleri, simektit, illit, klorit ve kaolinit olup azda olsa diğer kil mineralleride görülmektedir. Ankara kili montmorillonitde içermesinden dolayı şişme potansiyeli yüksek bir kildir [10, 11].



Şekil 1. Numunenin alındığı yerin yer bulduru haritası

Zemin sınıflaması olarak genelde yüksek plastisiteli (CH), inorganik kil (OH) ve yüksek plastisiteli (MH) grubundadır. Ayrıca normal aktif killer grubuna girmekte, indeks ve sınıflama değerleri alüvyal kile oranla daha yüksektir. Dane dağılımları ise değişik kil minerallerinden oluştuğu için heterojen görünümündedir. Ankara kilinde yer yer kalış katmanları ve kalker konkresyonları da görülmektedir [12, 13]. Ankara ilinin genel jeolojisi Şekil 2’de verilmiştir.

Laboratuvara getirilen örselenmiş zemin numunesine Atterberg limit deneyleri, özgül ağırlık deneyi, elek analizi ve hidrometre deneyi yapılmıştır. Zemin numunesinin optimum su içeriğini ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını bulmak için ASTM D 698 [14]’e göre Proctor deneyi yapılmıştır. Deneyler yapılırken oluşabilecek hataları minimum düzeye indirmek ve zemine uygulanacak darbeleri homojen bir şekilde yaymak için otomatik kompaksiyon aleti tercih edilmiştir. Hazırlanan numunelere CBR deneyi yapılmıştır. Zeminin kayma gerilmesi dayanım parametrelerini ölçmek için CBR deneyi yapılan numunelerden hidrolik numune alıcı ile numuneler alınmış, bu numuneler üzerinde ASTM D 2850 [15]’e uygun olarak (UU) üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır [16].



Şekil 2. Ankara ili ve çevresi 1:100 000 ölçekli genel jeoloji haritası [13]

## 2.2. Metod

Bu çalışmada, kuru ve ıslak CBR deneyi ile elde edilen sonuçlarla Üç eksenli basınç deneyi sonuçlarının arasındaki ilişkilerin ortaya konulması planlanmıştır. Bu kapsamda CBR numunelerinin bir kısmı ıslak CBR olarak planlanmış fakat, 7 gün suda bekletilen numuneler suya doymuş hale gelmediği için ıslak CBR deneyi yerine, zeminin su içeriğinin optimum seviyesinin üzerine çıkartılarak doymuş şartlara getirilmeye çalışılmış ve zeminin doymuşluk derecesindeki artışların CBR ve üç eksenli basınç deney değerlerine etkisi gözlenmeye çalışılmıştır. Bu sebeple numuneler optimum su içeriğinin yanı sıra, ayrıca yaklaşık %10 ila %20 seviyesinin üzerinde su içeriği değerlerinde sıkıştırılmıştır. Araştırmada kullanılacak killerin, indeks ve tanımlama deneyleri bilinen metodlarla yapılmıştır. Bunlar için, araziden getirilen zemin numuneleri öncelikle Atterberg kıvam limitleri, tane dağılım analizi ve özgül ağırlık deneyi için ayrılarak etüvde 110 C° de 16 saat kurutulmuştur. Kuruyan numuneden 40 numaralı elekten elenmiş 200 gr kadar malzeme likit limit ve plastik limit sınırlarını belirlemek için, No.200 (0,075 mm) elekten geçen yaklaşık 40 gr malzeme hidrometre deneyi için ve 2,00 mm den elenmiş 100 gr kadar malzemede özgül ağırlık deneyi için ayrılmıştır.

Deneylerde kullanılacak numunenin optimum su içeriği ve doymuşluk yüzdelerini bulmak için yapılan standart Proctor deneyi için 7 kg etüvde kurutulmuş zemin numunesi, tanelerinin zarar görmemesi için lastik tokmak ile 4,75 mm göz açıklığına sahip elekten geçebilecek hale gelene kadar ufaltılmıştır. Deneye belli bir su içeriği ile başlanmış ve su içeriği artırılarak devam edilmiştir. Her bir deney setinden su içeriği için numune alınmış, deney sonunda yapılan hesaplarla optimum su içeriğine karşılık gelen kuru birim hacim ağırlık grafiği çizilmiş ve doymuşluk yüzdeleri (Sr %) hesaplanmıştır.

CBR deneyleri standart Proctor sıklığında 3 farklı su içeriğinde, her bir su içeriğinde 4 adet olmak üzere toplam 12 numune üzerinde yapılmıştır. Deney sonuçları verilirken numunelerin karıştırılmaması için optimum su içeriğinde Proctor sıklığındaki numunelere SP1 numaralı numune, optimum su içeriğinin % 10 artırılması ile doymuşluk yüzdelerinin Sr %94 civarına yaklaştırılan standart Proctor sıklığındaki numunelere SP2, optimum su içeriğinin % 20 artırılması ile doymuşluk yüzdelerinin Sr %97 civarına yaklaştırılan standart Proctor sıklığındaki numuneler SP3, numaralı numune olarak adlandırılmıştır. Ayrıca her bir numune kendi grubunun alt numarası ile adlandırılmıştır. Örneğin standart Proctor

sıklığındaki %97 doygunluğa sahip numune SP3, aynı doygunluk %'sinde deney yapılan 4 numuneden birinci numune için ise SP3-1 kısaltması kullanılacaktır. Deneylerde kullanılan kısaltmalar ve

su içeriği-doygunluk yüzdesi değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan kısaltmalar ve su içeriği-doygunluk değerleri

Enerji Oranı	Su içeriği (w)	Doygunluk (%) (ort)	Hazırlanan Numune Adedi	Numuneye verilecek Ad
Standart Proctor	%32 (W <sub>opt</sub> )	%90	4	SP1-1
				SP1-2
				SP1-3
				SP1-4
	%34	%94	4	SP2-1
				SP2-2
				SP2-3
				SP2-4
	%36	%97	4	SP3-1

Hazırlanan her bir CBR numunesinden deney sonunda 3 adet üç eksenli basınç deneyi numunesi alınmış, yaklaşık 36 numune üzerinde üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Standart Proctor sıklığında optimum su içeriğinde (w=%30,5), Sr %90 civarında,

su içeriği yaklaşık %10 arttırıldığında (w=%34), Sr ortalama %94 civarında, ve su içeriği yaklaşık %20 arttırıldığında (w=%36), Sr ortalama %97 civarında olmaktadır.

### 3. Deneysel Bulgular

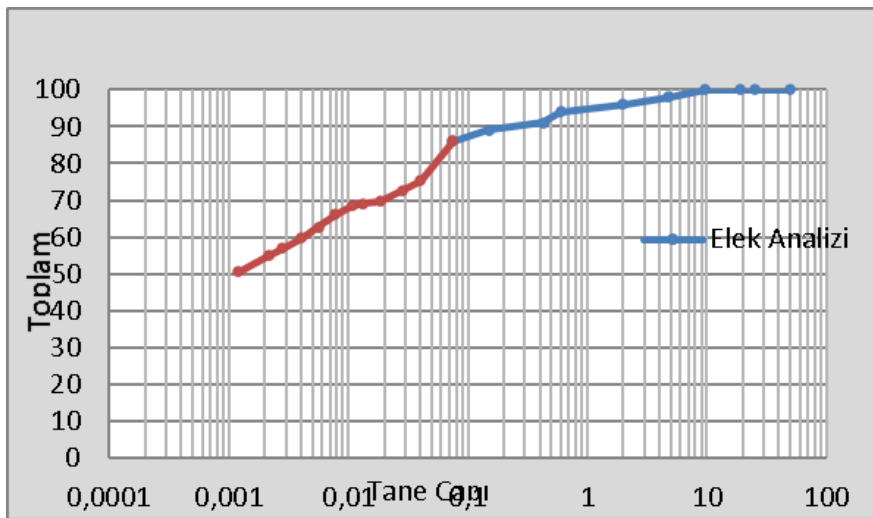
#### 3.1. İndeks ve Tanımlama Deneyleri

Numuneler üzerinde yapılan indeks ve tanımlama deneylerine göre likit limit %80, plastik limit %36, plastisite indisi 44 bulunmuştur. Özgül ağırlık deney sonucu G<sub>s</sub>= 2,65 dir.

Yapılan elek analizi ve hidrometre deney sonuçlarına göre zemin cinsi CH (USCS'ye göre) bulunmuştur. Elek analizi ve hidrometre deney sonuçları Şekil 3'de, Atterberg limitleri ve özgül ağırlık deney sonuçları ise Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 Atterberg limitleri, özgül ağırlık deney sonuçları ve zemin sınıflandırması

Zemin Türü	Likit Limit (%)	Plastik Limit	Plastisite İndisi	G <sub>s</sub>	USCS	AASHTO
Kil	80	36	44	2,65	CH	A-7-6

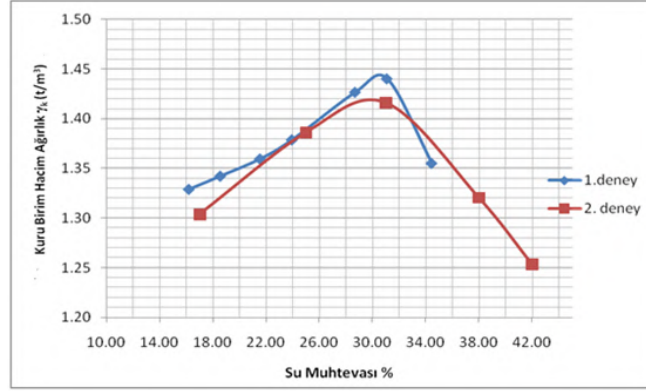


Şekil 3. Elek analizi ve hidrometre deney grafiği

### 3.2. Standart Proctor Deney Bulguları

Çukurambar semtinden alınan ve indeks deneyleri ile türünün CH olduğu belirlenen kil numunesine iki kez yapılan standart Proctor deneyi ile zeminin optimum su içeriğinin ( $w_{opt}$ ) yaklaşık %30,5 civarlarında olduğu ve bu su içeriğine karşılık gelen maksimum kuru birim hacim ağırlığın ise  $1,45 \text{ t/m}^3$  ve

zeminin kuru birim hacim ağırlığının maksimum olduğu noktada doygunluk yüzdesinin ( $S_r$ ) %91 civarında olduğu belirlenmiştir. Standart Proctor deneyine ait  $\gamma_k-w$  grafiği Şekil 4’de verilmiştir. Standart ve modifiye Proctor deney sonuçlarının sayısal verileri Çizelge 3’de verilmiştir.



Şekil 4. Standart Proctor deney sonuçları

Çizelge 3. Standart Proctor deney sonuçları

Deney	Örselenmiş Numune ( $\gamma$ ) ( $\text{t/m}^3$ )	$\gamma_{kmax}$ ( $\text{t/m}^3$ )	Optimum Su İçeriği ( $W_{opt}\%$ )	Doygunluk Oranı $S_r$ (%)
Standart Proctor	1,89	1,45	30,5	%93

### 3.3. CBR Deneyinden Elde Edilen Bulgular

Proctor deneyleri ile belirlenmiş ve 6’lık kalıplarda sıkıştırılmış 12 adet zemin numunesine, standart Proctor sıkılığında, farklı su içeriği ve doygunluk yüzdelerinde CBR deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler optimum su içeriği civarında standart Proctor sıkılığında sıkıştırılmış zeminlerde

yapılan CBR değerlerinin ortalama %12, olduğunu bu su içeriklerinin üzerine çıkıldıkça CBR değerinin standart Proctor sıkılığı için %6’ ya kadar düştüğünü göstermiştir. Yapılan deneyler ve elde edilen veriler standart Proctor için Çizelge 4’de verilmiştir.

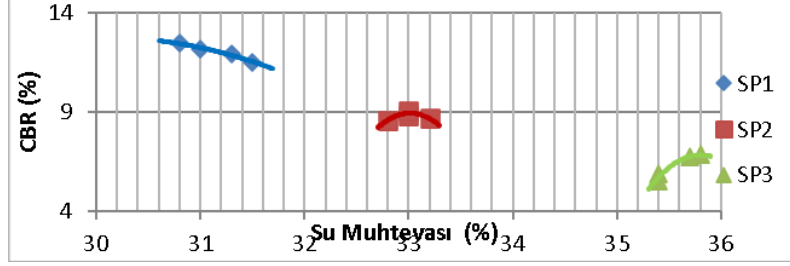
Çizelge 4. Standart Proctor sıkılığındaki numunelerin su içeriği ve CBR değerleri

Deney	İstenen Su İçeriği (%)	Elde Edilen Su İçeriği (%)	CBR (%)	CBR (Ort.) (%)
SP1-1	$W_{opt}$ %30,5	31	12,17	%12
SP1-2		31,5	11,5	
SP1-3		31,3	11,9	
SP1-4		30,8	12,45	
SP2-1	$W_{opt} + \%10$ %34	33	8,79	%9
SP2-2		33,2	8,66	
SP2-3		33	9,06	
SP2-4		32,8	8,59	
SP3-1	$W_{opt} + \%20$ %36	35,8	6,83	%6
SP3-2		35,8	6,76	
SP3-3		35,4	5,55	
SP3-4		35,4	5,88	

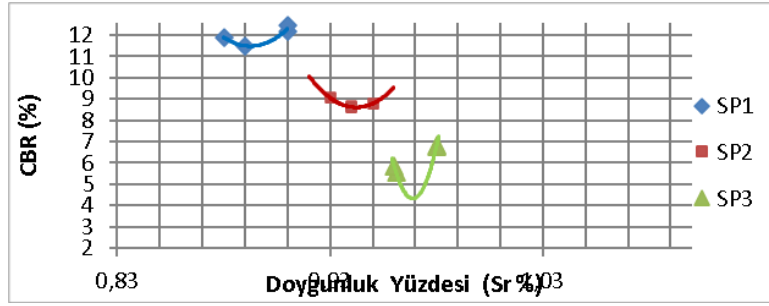


Standart Proctor sıklığındaki numunelerin su içeriğine bağlı olarak CBR değerlerinin değişiminin dağılımı Şekil 5’de gösterilmiştir. Dağılımda optimum su içeriğindeki numunelerin (SP1) CBR değerlerinin %13-%11, doygunluk yüzdesinin (Sr) %95 civarındaki numunelerin (SP2) CBR değerleri %9-%8 ve

doygunluk yüzdesinin (Sr) %98 civarında olan numunelerin (SP3) CBR değerlerinin %7-%5 arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 6’da standart Proctor sıklığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve doygunluk yüzdesi (Sr) değişim grafiği görülmektedir.



Şekil 5. Standart Proctor sıklığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve su içeriği değişiminin grafiksel dağılımı



Şekil 6. Standart Proctor sıklığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve doygunluk yüzdesi (Sr) değişiminin grafiksel dağılımı

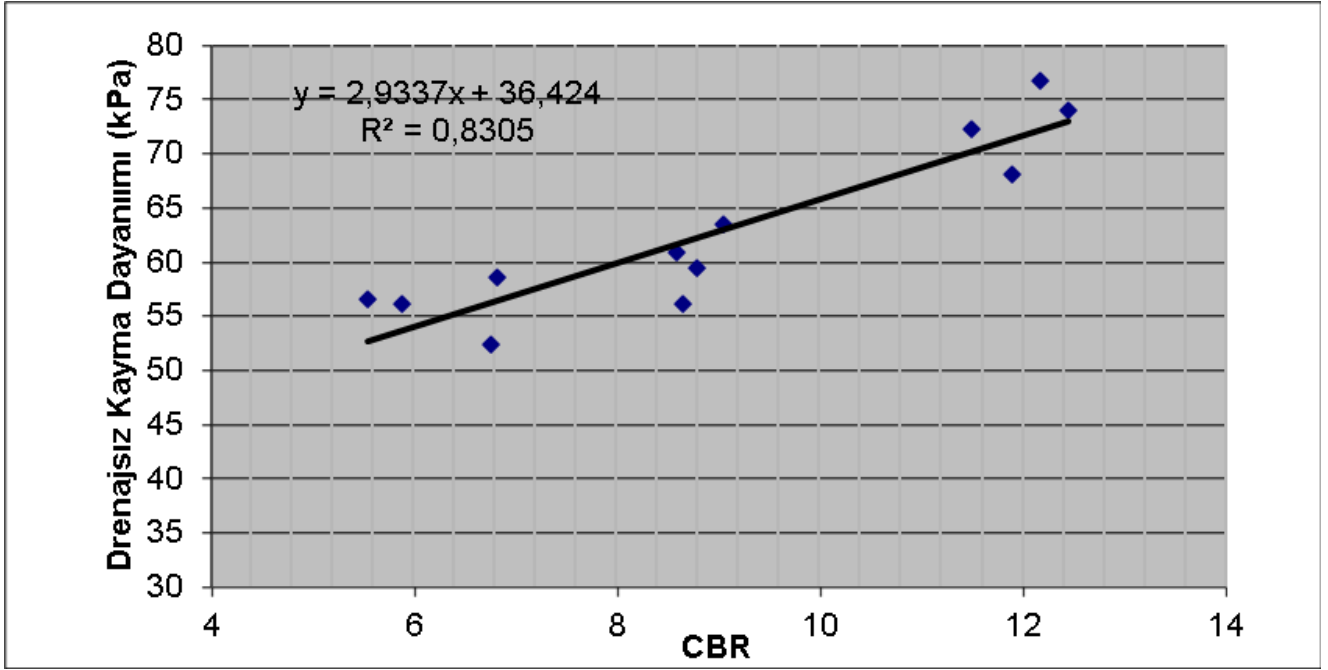
### 3.4. Üç Eksenli (UU) Basınç Deneyi ve Elde Edilen Bulgular

CBR deneyi yapılan numunelerden alınan üç eksenli basınç deneyi numuneleri ile farklı su içeriklerine ve CBR değerlerine sahip zeminlerin kayma dayanımı parametreleri arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Alınan deney numuneleri üç eksenli basınç deneyi cihazında konsolidasyonsuz drenajsız (UU) deneyine tabi tutulmuştur. Sonuçlar Çizelge 5’de verilmiştir.

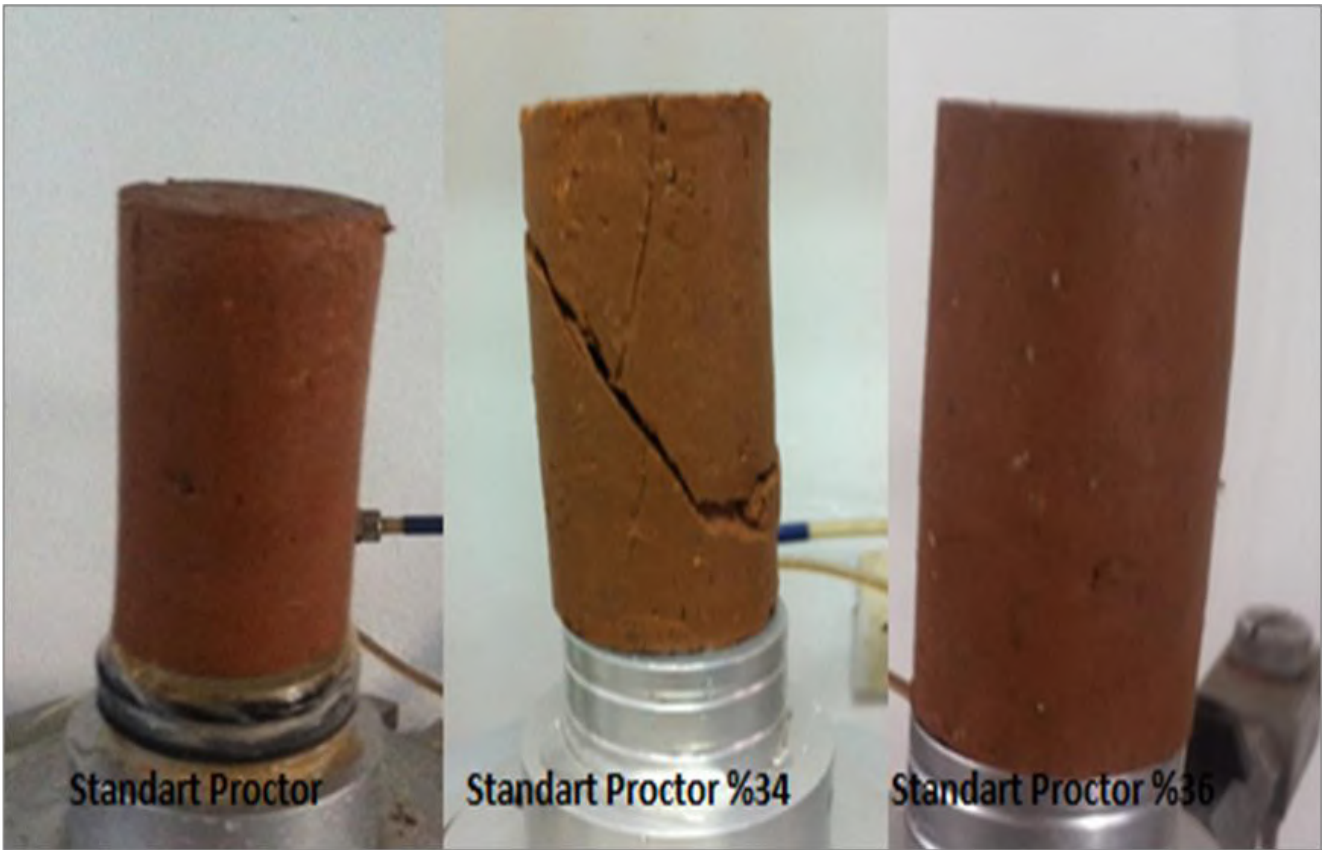
Standart Proctor sıklığındaki zemin numunelerinin CBR değeri ve Drenajsız kayma dayanımını gösteren korelasyon grafiği Şekil 7’de verilmiştir. Standart Proctor sıklığında ve özellikle yüksek su içeriklerindeki zeminlerde kayma düzlemi açık şekilde görülmemekte, buna karşın daha çok varilleşme görülmektedir (Şekil 8).

Çizelge 5. Standart Proctor numunelerine ait CBR ve üç eksenli basınç deney sonuçları

Deney	İstenen Su İçeriği (%)	Elde Edilen Su İçeriği (%)	CBR (%)	CBR (Ort.) (%)	Drenajsız Kayma Dayanımı Cu (kPa)	Drenajsız Kayma Dayanımı Cu (kPa) (Ortalama)	İçsel Sürtünme Açısı $\phi$	İçsel Sürtünme Açısı $\phi$ (Ortalama)
SP1-1	W <sub>opt</sub> %30,5	31	12,17	%12	76,73	72,86	25,80	26,86
SP1-2		31,5	11,5		72,25		28,00	
SP1-3		31,3	11,9		68		24,33	
SP1-4		30,8	12,45		74		29,30	
SP2-1	W <sub>opt</sub> +%10 %34	33	8,79	%9	59,36	59,68	19,95	17,31
SP2-2		33,2	8,66		56,04		16,02	
SP2-3		33	9,06		63,43		15,87	
SP2-4		32,8	8,59		60,92		17,38	
SP3-1	W <sub>opt</sub> +%20 %36	35,8	6,83	%6	58,62	56,08	12,09	11,95
SP3-2		35,8	6,76		52,39		12,82	
SP3-3		35,4	5,55		56,51		11,23	
SP3-4		35,4	5,88		56,8		11,65	



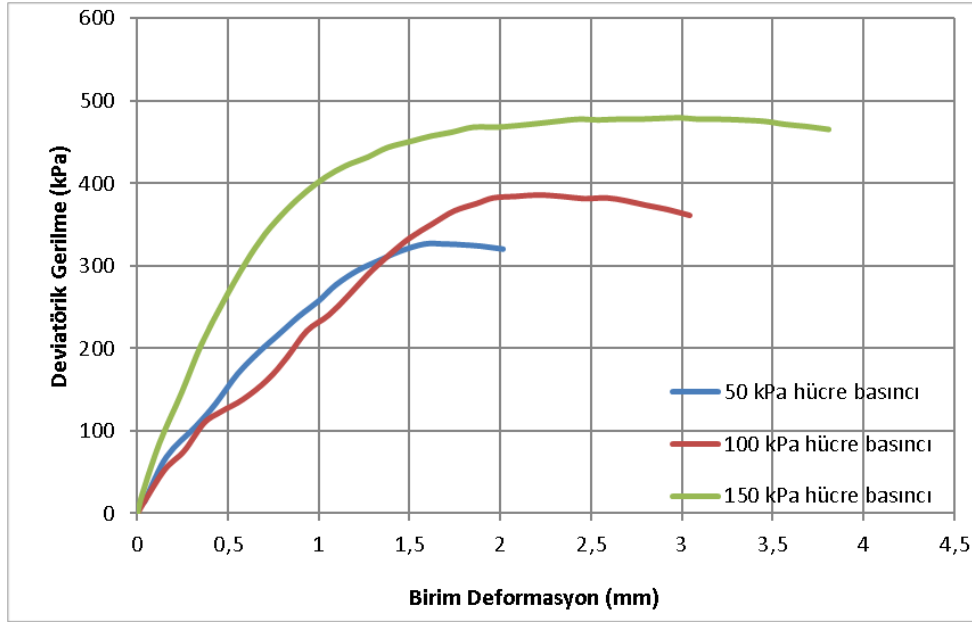
Şekil 7. Kohezyon değeri ile standart Proctor sıklığındaki numunelerin CBR değerlerinin korelasyon grafiği



Şekil 8. Standart Proctor sıklığındaki üç eksenli deney numuneleri

Üç eksenli basınç deneyi yapılan numunelerin her birinin gerilme deformasyon grafiği makale içerisinde verilmemiştir. Örnek olması açısından SP1-3 numaralı numunenin gerilme-

deformasyon grafiği Şekil 9'da verilmiştir. Yapılan deneylerde numunelerin CBR değerlerindeki artış ile, kohezyonlarında ve içsel sürtünme açılarında ( $\phi$ ) anlamlı artışlar meydana gelmiştir.



Şekil 9. SPI-3 numaralı numunenin gerilme-deformasyon grafiği

#### 4. Tartışma

Bu çalışmada, yüksek plastisiteli zemin numunesinin, CBR değerleri ile sözü edilen zemininin kayma dayanımı parametreleri arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Ankara ili Çukurambar Semtinde yapılmakta olan bir inşaat kazısında alınan zemin numunesi üzerinde öncelikle tanımlama deneyleri yapılmış (elek analizi, hidrometre ve Atterberg limitleri) ve zeminin (USCS)'ye göre CH olarak sınıflandırılabilceği likit limitinin  $LL=80$ ,  $PL=36$ , özgül ağırlığının ise 2,65 olduğu bulunmuştur. Ankara kenti toprak zeminlerinde Kasapoğlunun yaptığı deneylerde zeminlerin özgül ağırlığının akarsu ve göl çökelleri için 2,47-2,76 arasında, alüvyonların 2,50-2,76 arasında, likit limit değerlerinin 20,50-97,50 arasında, plastik limit değerlerinin ise 5,00-58,00 arasında değiştiğini saptamıştır. Bu sonuçlarla elde edilen veriler karşılaştırıldığında sonuçların anlamlı olduğu görülmektedir. Numunelerin optimum su içeriklerini ve bu içeriklere karşılık gelen doygunluk yüzdelerini bulmak için zemin numunelerine standart Proctor deneyi yapılmış, farklı enerji oranlarına karşılık gelen optimum su içerikleri ve bu içeriklere karşılık gelen kuru birim hacim ağırlıklar bulunmuştur. Zeminin standart Proctor sıklığında optimum su içeriğinin %30,5 civarlarında olduğu tespit edilmiştir.

CBR deneyleri öncelikle ıslak ve kuru CBR olmak üzere iki aşamada yapılması planlanmış fakat daha sonra zeminin standartlarda belirtildiği sürede suya doygun hale gelmediği

görülmüştür. Bu yüzden numuneleri doygun hale getirmek için optimum su içeriklerinin üzerindeki su içeriklerine çıkartılarak sıkıştırma deneyleri yapılmış ve doygunluk sınırına yakın değerlere göre deneyler yapılmıştır.

CBR deneyleri standart Proctor sıklığında yaklaşık %30,5, %34, %36 su içeriğinde, ve her biri 4 set olmak şartı ile toplam 12 numune üzerinde yapılmıştır. Standart Proctor sıklığında, %30,5 su içeriğinde (CBR % 12,2-11,5-12-12,4) ortalama %12, %34 su içeriğinde (CBR % 8,8-8,7-9,1-8,6) ortalama %8,8 ve %36 su içeriğinde ise (CBR % 6,8-6,8-5,6-5,9) ortalama %6 CBR değeri elde edilmiştir.

Üç eksenli basınç deneyi için CBR kalıplarında deneye tabi tutulan zemin numunelerinden her biri en az 3 tane olmak üzere hidrolik numune alıcı ile deney numuneleri alınmış ve 36 numune üzerinde deneyler yapılmıştır. Üç eksenli basınç deneyinde standart Proctor sıklığında sıkıştırılmış zemin numunelerinin CBR değer ortalaması %12 civarında olan numunelerin drenajsız kayma dayanımı, 76,78-68 kPa arasında ortalama 72 kPa, CBR değer ortalaması %8,8 civarında olan numunelerin drenajsız kayma dayanımı 62,43-56,04 kPa arasında ortalama 60 kPa ve CBR değer ortalaması %6,2 olan numuneler 58,62-52,39 kPa arasında ortalama 55 kPa drenajsız kayma dayanımı değeri vermiştir. Deney sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Deney Sonuçları

Deney Adı	Su İçeriği	Sr (%)	CBR% (Ort.)	Cu (Ort. kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (Ort.) $\phi$	Bulunan Katsayı
SP1	%30,5	90	12	72,86	26,86	0,167
SP2	%34	94	9	59,68	17,31	0,162
SP3	%36	97	6	56,08	11,95	0,111

Deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 7' de Look'un Handbook of Geotechnical Investigation and Desing Tables

kitabında verdiği, daha önce yapılan deneylerden elde edilen verilere göre değerlendirildiğinde, Look'da drenajsız kayma

dayanımlarının CBR sonuçları artışı ile arttığı görülmektedir. Look killeri sertlik değerine göre ayırmış bu değerlerden elde edilen CBR sonuçlarından da elde edilecek ortalama drenajsız kayma dayanımı hakkında yaklaşık tahminlerde bulunmuştur. Bu değerlendirmeye göre CBR değerinin 4-10 arasında olması durumunda drenajsız kayma dayanımının 50-100 kPa, 10-20 arasında olması durumunda 100-200 kPa ve CBR > 20 olması durumunda da drenajsız kayma dayanımı > 200 kPa gibi

değerlerde olabileceğini öngörülmüştür. Yaptığımız çalışmalardan elde ettiğimiz CBR değerleri ile Look (15) karşılaştırıldığında, standart Proctor sıklığında ortalama CBR değeri %6-%12 arasında değişen zeminler katı sınıfına girmekte ve drenajsız kayma dayanımları 55-72 kPa arasında değiştiği görülmekte olup elde edilen sonuçların çok farklı olmadığı görülmüştür.

Çizelge 7. Look'a göre CBR değerleri ile drenajsız kayma dayanımı arasındaki yaklaşık korelasyon ve laboratuvar sonuçları arasındaki ilişki[15]

Zeminin Kıvamı		Yumuşak	Sıkı	Katı	Çok katı	Sert	Çok sert
Yaklaşık CBR (%)	Örselenmemiş	-	1-2	2-4	4-10	>10	
	Örselenmiş	1-2	2-4	4-10	10-20	>20	
Look'a göre Drenajsız Kayma Dayanımı (kPa)		12-25	25-50	50-100	100-200	>200	
CBR Değerleri (ort)		6,2	8,8	12	38	59	68
Drenajsız Kayma Dayanımı (kPa)		55	60	72	239	317	368

## 5. Sonuçlar

Yapılan CBR ve üç eksenli basınç deneyleri ile bulunan drenajsız kayma dayanımı değerleri ortalamasına bakıldığı zaman, deney yapılan kil numunesi ile arasında genel olarak standart proctor sıklığındaki zeminlerde; Aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi (Eş.1) karektersitik bir davranış göstererek bu aralıklarda değiştiği görülmüştür.

$$CBR = Cu \times 0,111 \sim 0,167 \quad \text{Eş. (1)}$$

Bulunan bu katsayılar, her zeminin kendine özgü bir değerinin olduğunu ve su içeriği değişikliği ile bu değerlerin değişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Katsayı seçiminde doygunluk yüzdesinin artışına bağlı olarak katsayılarında büyüdüğü göz önüne alınmalıdır. Optimum su içeriğinde katsayı 0,111 civarında olurken, optimum su içeriğinin üzerindeki su içeriklerinde katsayının 0,167'ye kadar değişim göstermektedir.

## Kaynaklar

- [1].Tunç, A. 2004. Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları. Asil Yayın Dağıtım, Ankara
- [2]. Uzun, Bayram Ali (2005). Temel Zemin Mekanikliği. Trabzon.
- [3].Türedi, Y., Örnek, M., Bal, B.H., Işık, A. O. (2017). Çelikhane Cürufu Katkısının CBR Sonuçlarına Etkisinin Araştırılması. 7. Geoteknik Sempozyumu 22-23-24 Kasım 2017, İstanbul.
- [4].Vural, İ. (2016). İnşaat Yıkıntı Atıkları ile Zeminlerin Taşıma Gücü Özelliklerinin İyileştirilmesi. 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 3-5 November 2016 (ISITES2016 Alanya/Antalya - Turkey).
- [5].Erginer, M., Kahraman, O., Ersin, A.B., Türedi, Y., Örnek, M. (2019). Lastik Atık Katkılı Zeminlerde CBR Değerinin Araştırılması. OKÜ Fen Bil. Enst. Dergisi, Cilt 2, Sayı 1, 41.44.
- [6].Kök, B.V., Yılmaz, M., Geçkil, A. (2012). Çimento Stabilizasyonlu zeminin Esnek Üst Yapı Maliyetine Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 18, Sayı 3, S.165-172.
- [7]. Yaşar, M. (2019). Uçucu Kül Katkısının Kilin Geoteknik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Bartın Üniversitesi, Bartın.
- [8].Geçkil, T., Sarıcı, T., Karbaş, B.(2021). Siyah Karbon ile Stabilize Edilen Taban Zeminin Yol Esnek Üst Yapı Maliyetine Etkisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 23, S. 222-235.
- [9]. ASTM D 1883.(2016). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. Washington, D.C.
- [10].Çelik M.H., Orhan, M., Ogun, Y. (2005). Balgat ve Etimesgut Bölgesi Kilinin Zemin İndekslerinin ve Parametrelerinin Değerlendirilmesi. Politeknik Dergisi, Cilt:8, Sayı:1, S.87-94.
- [11]. Öztürk, Y., S., Ünsal, N., Akbaş, S.O. (2015). Gölbaşı (Ankara) Yerleşim Alanını Killerin Şişme Ve Kireç İle İyileştirilme Potansiyellerinin Belirlenmesi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 30, No 2, 309-318.
- [12]. Akyürek, B., (1997). 1/1000000 ölçekli ve açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Ankara: MTA Yayını Ankara-F15 paftası.



- [13]. Yılmaz, U., (2006). *Ankara Kilinin (Çankaya-Ankara) Sıkışma-Kabarma Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi F.B.E, Isparta, 27.
- [14].ASTM D 698 (2012). Standard Test Method for Laboratory Compaction Charecteristics of Soil Using Standar Effort. Washington, D.C.
- [15]. ASTM D2850 (2015). Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils. Washington, D.C.
- [16].Look, B. (2007). Handbook of Geotechnical Investigation and Desing Tables. Netherlands: Taylor&Francis, 157.



# Bulanık TOPSİS Yöntemi İle Bir Mobilya Fabrikası İçin Bölge Seçimi

Ayşe Nilgün Kayadelen<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5442-893X), [nkayadelen@gmail.com](mailto:nkayadelen@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 15 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009377)

**ATIF/REFERENCE:** Kayadelen, A. N. (2021). Bulanık TOPSİS Yöntemi ile Bir Mobilya Fabrikası için Bölge Seçimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 71-76.

## Öz

Uzun vadeli zaman zarfında fabrikanın aynı şartlarda çalışmasını gerektireceği için fabrika yer seçiminde çok sayıda kriter göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, fabrikaların yer seçimi gibi kritik kararlarında, karar verme sürecine yardımcı olan sayısal yöntemlerin kullanılması faydalı olacaktır. Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri, yer seçim kararlarında sıklıkla uygulanan yöntemlerin başında gelmektedir. Çalışmada, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Bulanık The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSİS) yöntemi, mobilya fabrikası bölge seçimi için uygulanmıştır. Mobilya fabrikası bölge seçimi için kriter ağırlıkları Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile belirlenmiştir. Bulanık TOPSİS uygulama sonuçlarına göre, ana kriterler için ilk sırada yer alan bölge Marmara Bölgesidir. Üretim, ekonomi, Pazar payı alt kriterleri için İç Anadolu Bölgesi ilk sırada yer alan bölge olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık AHP, Bulanık TOPSİS, Fabrika Yer Seçimi.

## Region Selection For A Furniture Facility With Fuzzy TOPSIS Method

### Abstract

Since it will require the facility to operate under the same conditions over a long period of time, many criteria should be considered in the facility location selection. For this reason, it will be useful to use quantitative methods that help the decision-making process in critical decisions such as facility location selection. Multi-criteria decision making methods are one of the most frequently applied methods in location selection decisions. The Fuzzy The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method, which is one of the multi-criteria decision making (MCDM) methods, was applied for the furniture factory region selection in the study. Criteria weights for furniture factory region selection were determined by the Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) method. The Marmara Region ranked first in terms of the main criteria Fuzzy TOPSIS application results. In terms of production, economy and market share sub-criteria, the Central Anatolia Region was the region ranked first.

**Keywords:** Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS, Facility Location Selection.

\* Sorumlu Yazar: [nkayadelen@gmail.com](mailto:nkayadelen@gmail.com)

## 1. Giriş

Tüm kuruluşların en önemli ihtiyacının başında bir kuruluş yeri gelmektedir. Üretim ya da hizmet sektöründe tesis yeri bir kuruluş için büyük önem taşımaktadır. İlk kuruluş yerinin doğru seçilmesi kuruluşun geleceğinde ortaya çıkabilecek sorunlarında önüne geçilmesini sağlayacaktır. Yer seçimi, kuruluş karar vericileri için önemli bir karardır. Karar vericilerin, doğru kararlar verebilmeleri bir takım yardımcı araçlara ihtiyaçları vardır. Bu araçların başında sayısal yöntemler gelmektedir. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri bu sayısal yöntemlerden biri olup karar vericiler için oldukça önemli araçlardır.

Literatürde farklı sektörlere uygulanmış birçok ÇKKV yöntemi vardır. ÇKKV yöntemleri arasında bulunan, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Elimination and Choice Translating Reality English (ELECTRE), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Vise Kriterijumsk a Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) ve Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) en sık uygulanan yöntemlerdir. Sağlık, eğitim, imalat sektörü gibi birçok alanda ÇKKV yöntem uygulamaları bulunmaktadır. (Miç & Antmen, 2019), Bölge Hastanesi seçiminde Bulanık TOPSIS yöntemini uygulamışlardır., (Giannoulis & Ishizaka, 2010) eğitim alanındaki uygulamalarında, İngiliz üniversitelerinin karşılaştırılmasında ELECTRE III yöntemini kullanmışlardır. İmalat sektörlerinden biri olan mobilya sektöründe de ÇKKV uygulaması bulunmaktadır. (Tekez & Bark, 2016), mobilya sektörü tedarikçi seçiminde Bulanık TOPSIS yöntemini uygulamışlardır. (Azizi, Mohebbi, Gargari, & Ziaie, 2015), İran'da kurulacak bir mobilya fabrikası için yer seçiminde AHP ve TOPSIS yöntemlerinden faydalanmışlardır. (Üçüncü & Bayram, 2016), mobilya yer seçimi için Kastamonu ilinin ön plana çıkan niteliklerini AHP yöntemi ile incelemişlerdir. (İmren, Karayılmazlar, & Kurt, 2016) mobilya fabrikası yer seçimi uygulaması için AHP yöntemini kullanmışlardır. (Suman, Sarfaraj, Chyon, & Fahim, 2021) Bangladeş'te kurulacak mobilya fabrikası yer seçiminde AHP ve Bulanık AHP yöntemlerini kullanarak kriter ağırlıklarını belirlemişlerdir.

Mobilya Fabrikası için bölge seçimi belirsizlikler içermektedir. Bu nedenle Bulanık Mantık kullanılması doğru bir karar olacaktır. Çalışmada bu amaçla, Mobilya Fabrikası için Bulanık Mantık kullanan çok kriterli karar verme yöntemlerinden Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Bulanık TOPSIS yöntemi (Karakaşoğlu, 2008);

- İnsan düşünme tarzına yakın, matematiksel modellere uyumlu, insan davranışlarını formüle edebilmektedir.
- Bulanık mantık yaklaşımı matematiksel modele ihtiyaç duymadığı için matematiksel modeli iyi tanımlanamamış, zamanla değişen ve doğrusal olmayan sistemler için başarılı uygulama alanıdır. Ayrıca, belirsizlik içeren sistemlerin oluşturulmasına fırsat tanımaktadır.
- İnsan faktörünün içinde bulunduğu önyargı, davranış ve amaçlarının olduğu ortamlarda uygulanabildiği için yaşamda karşılaşılabilen problemler karşısında klasik matematiksel modellemeden daha esnek ve güvenlidir.

Çalışmanın materyal metot bölümünde, uygulanan yöntemlere, araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde uygulamaya ve sonuç bölümünde uygulamanın sonuçlarına yer verilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışmada, mobilya fabrikası bölgesel bazda yer seçimi için üç ana kriter ve bu kriterlerin alt kriterleri için ağırlık belirlemede Bulanık AHP yöntemi; bölge seçim sıralaması için, Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

Kuruluş yeri seçimi, tüm sektörler için olduğu gibi mobilya sektörü için de stratejik bir karardır. Bir fabrikanın kuruluş yeri seçimi 3 aşamalıdır;

1. Fabrikanın kurulacağı bölgenin seçimi.
2. Bölge içinde kuruluş yerinin (il ya da ilçesi) seçimi.
3. Seçilen il veya ilçede kurulacağı konum ve arazinin seçimi.

Bölge kuruluş yeri seçimini etkileyecek faktörler, hammadde ve yardımcı malzemelere yakınlık, pazara yakınlık, işgücü varlığı, ulaşım kolaylığı, devlet teşvikleri olarak sayılabilir. Bu çalışmada mobilya fabrikası bölge seçimi amacıyla, bir mobilya fabrikası için belirlenen 4 bölge (İç Anadolu, Karadeniz Marmara ve Akdeniz) Bulanık TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır. Kuruluş yeri seçimine etki eden faktörler literatür araştırması ve uzman görüşü alınarak belirlenmiştir. Buna göre bir mobilya fabrikasının bölge seçimi için; üretim, ekonomi ve pazar payı olmak üzere üç ana kriter ve bu ana kriterlerin herbiri için alt kriterler belirlenmiştir. Ekonomi kriteri için arazi, ulaşım ve teşvik; Üretim kriteri için, hammadde, işgücü, kapasite; Pazar payı kriteri için, pazara yakınlık ve potansiyel pazar alanları birer alt kriterdir.

### 2.2. Metot

#### 2.1.1. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi

1970'lerde Saaty tarafından geliştirilen AHP Yöntemi, en sık kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir (Saaty, 1970). Klasik AHP yönteminin belirsizlik ve kararsızlık durumlarını ele almada yetersizliği nedeni ile Bulanık mantıkla Analitik Hiyerarşi Prosesinin birleştirilmesiyle Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ortaya çıkmıştır (Gül, Güneri, & Selvi, 2014). Net değerlerin kullanıldığı AHP'den farklı olarak, BAHP'de kıyaslama oranları bir değer aralığında verilmektedir (Şengül, Eren, Shiraz, Gezder, & Şengül, 2015). Farklı BAHP uygulamaları bulunmaktadır. Buna göre ilk uygulama, Van Laarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından yapılmış olup çalışmada üçgen bulanık sayılar kullanılarak bulanık oranları kıyaslanmıştır. İkinci uygulama, Buckley (1985) tarafından yamuk bulanık sayıların kullanılmasıyla geliştirilen bir modeldir (Kaptanoğlu & Özok, 2006)). Bir diğer uygulama, Chang'ın 1996 yılında geliştirdiği genişletilmiş analiz yöntemidir (Denizhan, Yalçınar, & Berber, 2017). BAHP ile ilgili son uygulama Abdel-Kader ve Dugdale tarafından 2001 yılında önerilmiş olan, bulanık sayıların 1) tam üyelikler, (2) sağ taraftaki kısmi üyelikler ve (3) sol taraftaki kısmi üyelikler kısmını içeren yeni bir sıralama yöntemidir (Organ & Kenger, 2012). Bu çalışmada, kriter ağırlıkları için aşağıda verilen Bulanık önem ölçeği kullanılmıştır.

Tablo 1. Bulanık Önem Ölçeği

Sözel Önem	Sayısal Önem	Bulanık Ölçek	Karşıt Ölçek
Eşit	1	(1,1,1)	1/2
Ortalama	3	(2,3,4)	1/3
Kuvvetli	5	(4,5,6)	1/5
Çok Kuvvetli	7	(6,7,8)	1/7
Son Derece Kuvvetli	9	(9,9,9)	1/9
Ara Değerler	2	(1,2,3)	1/2
	4	(3,4,5)	1/4
	6	(5,6,7)	1/6
	8	(7,8,9)	1/8

### 2.1.2. Bulanık TOPSİS Yöntemi

İlk olarak Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında ortaya çıkarılan TOPSİS (The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ÇKKV uygulamaları için en çok kullanılan yöntemlerden biridir. TOPSİS yöntemi genel olarak, seçilen alternatifin, pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak olma esasına dayanmaktadır. Fakat kararların belirsizlik altında verildiği ve amaç ve kısıtların belirgin olmayıp bulanık sayılarla ifade edildiği ortamlar için bulanık TOPSİS yöntemi geliştirilmiştir (Tzeng & Huang, 2011) Bulanık TOPSİS yönteminde kriterlere göre alternatifler belirsizlik altında değerlendirilerek sıralanmaktadır (Çınar, 2010). Chen (2006) tarafından önerilen bulanık TOPSİS, bulanık ortam altında grup karar verme problemlerini çözmek için TOPSİS'i genişleten sistematik bir yaklaşımdır. Bulanık TOPSİS yöntemi, belirsizliğin olduğu ve birden fazla karar vericinin bulunduğu problemlerin çözümü için uygundur. Bu yöntemde, sayısal değerler yerine dilsel ifadeler kullanılmaktadır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Mobilya Fabrikası bölge seçimi için yapılmış olan uygulama çalışması iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada ana kriterler ve alt kriterleri için Bulanık AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. İkinci aşamada, Bulanık TOPSİS ile fabrika yer seçimi için 4 aday bölge (İç Anadolu, Karadeniz, Marmara ve Akdeniz) sıralaması yapılmıştır.

### 3.1. Bulanık AHP ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Ekonomi kriterinin arazi, ulaşım ve teşvik alt kriterleri için Bulanık AHP sonucuna göre, teşvik kriteri en önemli kriterdir. Üretim kriterinin hammadde, işgücü ve kapasite alt kriterleri (hammadde, işgücü, kapasite) için Bulanık AHP sonucuna göre, kapasite kriteri en önemli kriterdir. Hammadde ve işgücü kriterlerinin birbirlerine yakın öneme sahip olduğu görülmektedir. Pazar Payı kriterinin alt kriterleri için Bulanık AHP sonucuna göre, pazara yakınlık kriteri en önemli kriterdir. Pazar potansiyeli kriteri, pazara yakınlık kriterine yakın öneme sahip olduğu görülmektedir.

İlk aşamada, Mobilya Fabrikası bölge seçimi için aday 4 bölge için belirlenen ana kriterler için aşağıdaki Tablo 2'de verilen bulanık sayı ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 2. Ana Kriterlerin Bulanık Sayı İkili Karşılaştırma Matrisi

Kriterler	Ekonomi	Üretim	Pazar Payı
Ekonomi	(1,1,1)	(2,3,4)	(6,7,8)
Üretim	(1/4, 1/31/2)	(1,1,1)	(7,8,9)
Pazar Payı	(1/8, 1/7,1/6)	(1/9, 1/8,1/7)	(1,1,1)

Tablo 3. Ana Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Bulanık Ağırlıklar	Ağırlıklar	Normalize Ağırlıklar
Ekonomi	(0,44, 0,57, 0,70)	0,57	0,56
Üretim	(0,27, 0,34, 0,43)	0,35	0,34
Pazar Payı	(0,04, 0,05, 0,06)	0,09	0,09
Toplam		1,02	1

Mobilya Fabrikası bölge seçimi için belirlenmiş olana ana kriterler için Bulanık AHP sonuçlarına göre, Ekonomi ana kriteri, % 56, en önemli kriter olarak ortaya çıkmıştır.

Alt kriterler için hesaplanan bulanık ağırlıklar ve kriter ağırlıkları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Alt Kriter Ağırlıkları

Ana Kriter	Alt Kriterler	Bulanık Ağırlıklar	Ağırlıklar	Normalize Ağırlıklar
Ekonomi	Arazi	(0,13, 0,18, 0,29)	0,10	0,07
	Ulaşım	(0,33, 0,51, 0,76)	0,28	0,18
	Teşvik	(1,19, 3,28, 3,40)	1,16	0,75
Üretim	Hammadde	(0,18, 0,29, 0,45)	0,15	0,29
	İşgücü	(0,15, 0,22, 0,40)	0,12	0,23
	Kapasite	(0,30, 0,49, 0,75)	0,26	0,49
Pazar Payı	Pazara Yakınlık	(0,49, 0,68)	0,39	0,58
	Pazar Potansiyeli	(0,37, 0,48)	0,28	0,42

### 3.2. Bulanık TOPSİS ile Bölge Sıralaması

Mobilya Fabrikası yer seçimi için 4 bölge belirlenmiştir. Bunlar, İç Anadolu, Karadeniz, Marmara ve Akdeniz Bölgeleridir. Ana ve alt kriterler kullanılarak Bulanık TOPSİS Yöntemi ile Mobilya Fabrikası bölge seçimi için sıralama uygulaması yapılmıştır. Uygulamada ilk olarak, ana kriterler için bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Ana kriterler için bulanık AHP ile belirlenen ağırlık değerlerinin de yer aldığı bulanık karar matrisi, Tablo 5'te gösterilmiştir.

Normalize bulanık karar matrisi Tablo 6'da, ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi Tablo 7'de gösterilmiştir.



Tablo 5. Ağırlıklarla Bulanık Karar Matrisi

Ağırlıklar	(5,7,9)	(7,9,9)	(3,5,7)
Bölgeler	Üretim	Pazar Payı	Ekonomi
İç Anadolu	(3, 6,33, 9)	(5, 7,67, 9)	(5,7,9)
Karadeniz	(1,5,9)	(1, 4,33, 7)	(3,5,7)
Marmara	(5, 8,33, 9)	(5, 7,67, 7)	(3, 6,33, 9)
Akdeniz	(1, 2,33, 5)	(1, 3,67, 7)	(1, 1,67, 5)

Tablo 6. Normalize Bulanık Karar Matrisi

Ağırlıklar	5	7	9	7	9	9	3	5	7
Bölgeler	Üretim			Pazar Payı			Ekonomi		
İç Anadolu	0,33	0,70	1	0,56	0,85	1	0,11	0,14	9
Karadeniz	0,11	0,56	1	0,11	0,48	0,78	0,14	0,20	7
Marmara	0,56	0,93	1	0,56	0,85	1	0,11	0,15	9
Akdeniz	0,11	0,26	0,56	0,11	0,41	0,78	0,20	1	5

Tablo 7. Ağırlıklı Normalize Bulanık Karar Matrisi

Ağırlıklar	5	7	9	7	9	9	3	5	7
Bölgeler	Üretim			Pazar Payı			Ekonomi		
İç Anadolu	1,67	4,93	9	3,89	7,67	9	0,33	0,71	1,40
Karadeniz	0,56	3,89	9	0,78	4	7	0,43	1	2,33
Marmara	2,78	6,48	9	3,89	8	9	0,33	0,79	2
Akdeniz	0,56	1,82	5	0,78	3,67	7	1	3	7
A*	2,78	6,48	9	3,89	8,33	9	1	5	7
A <sup>-</sup>	0,56	1,82	5	0,78	4,33	7	0,33	0,71	1,40

Bulanık-TOPSİS yönteminin son aşamasında Bulanık Pozitif İdeal Çözüm (FPIS-A\*) ve Bulanık Negatif İdeal Çözüm (FNIS-A<sup>-</sup>) hesaplanmış ve Tablo 8 ve Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 8. Bulanık Pozitif İdeal Çözüm

Bölgeler	FPIS'den Uzaklığı			di*
İç Anadolu	1,10	0,39	4,09	5,58
Karadeniz	1,97	3,15	3,56	8,68
Marmara	0,00	0,39	3,65	4,03
Akdeniz	3,77	3,44	1,18	8,39

Tablo 9. Bulanık Negatif İdeal Çözüm

Bölgeler	FNIS'den Uzaklığı			di <sup>-</sup>
İç Anadolu	2,99	2,88	0,00	5,87
Karadeniz	2,60	0,00	0,57	3,17
Marmara	3,77	2,88	0,54	7,19
Akdeniz	0,00	0,39	3,50	3,88

Bu hesaplamalar di\* ve di<sup>-</sup> ile gösterilen her bir bölgenin bu çözümlerden uzaklığını bulmayı sağlamaktadır. Son olarak, herbir bölgenin yakınlık katsayısı (CC<sub>i</sub>) Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. Herbir Bölge için Yakınlık Katsayıları ve Sıralama (Ana Kriterler)

Bölgeler	Sıralama	CC <sub>i</sub>
Marmara	1	0,64
İç Anadolu	2	0,51
Akdeniz	3	0,32
Karadeniz	3	0,27

Buna göre, CC<sub>i</sub> değeri en büyük olan bölge fabrika kuruluş yeri için en iyi bölgedir. CC<sub>i</sub> sonuçlarına göre, Mobilya Fabrikası kuruluş yeri için en uygun bölge Marmara Bölgesi olarak bulunmuştur. Bölgeler sıralaması Marmara Bölgesi > İç Anadolu Bölgesi > Akdeniz Bölgesi > Karadeniz şeklindedir.

Bulanık-TOPSIS ile ana kriterler kullanılarak uygulanan bölge sıralamasının yanısıra aynı süreç alt kriterler içinde uygulanarak en uygun bölgeler belirlenmiştir.

Buna göre, Üretim ana kriterinin alt kriterleri olan Hammadde, İşgücü ve Kapasite kriterleri için uygulanan Bulanık-TOPSIS sonucuna göre yakınlık katsayıları ve Bölge Sıralamalarına Tablo11’de yer verilmiştir.

Tablo 11. Herbir Bölge için Yakınlık Katsayıları ve Sıralama (Üretim Kriterinin Alt Kriterleri)

Bölgeler	Sıralama	CC <sub>i</sub>
İç Anadolu	1	0,76
Karadeniz	2	0,48
Akdeniz	3	0,29
Marmara	4	0,20

Üretim kriterinin alt kriterleri için uygulanan Bulanık TOPSİS sonucuna göre en yüksek CC<sub>i</sub> değerine sahip olan İç Anadolu Bölgesi, en uygun bölgedir. Bölgeler sıralaması İç Anadolu Bölgesi >Karadeniz Bölgesi > Akdeniz Bölgesi > Marmara Bölgesi şeklindedir.

Ekonomi kriterinin alt kriterleri olan Arazi, Ulaşım ve Teşvik kriterleri için uygulanan Bulanık-TOPSIS sonucuna göre yakınlık katsayıları ve Bölge Sıralamalarına Tablo12’de yer verilmiştir.

Tablo 12. Herbir Bölge için Yakınlık Katsayıları ve Sıralama (Ekonomi Kriterinin Alt Kriterleri)

Bölgeler	Sıralama	CC <sub>i</sub>
İç Anadolu	1	0,88
Marmara	2	0,44
Karadeniz	3	0,41
Akdeniz	4	0,29

Ekonomi kriterinin alt kriterleri için uygulanan Bulanık TOPSİS sonucuna göre en yüksek CC<sub>i</sub> değerine sahip olan İç Anadolu Bölgesi en uygun bölgedir. Bölge sıralaması İç Anadolu Bölgesi >MarmaraBölgesi > Karadeniz Bölgesi > Akdeniz Bölgesi şeklindedir.

Pazar Payı kriterinin alt kriterleri olan Pazara Yakınlık ve Pazar Potansiyeli için uygulanan Bulanık-TOPSIS sonucuna göre yakınlık katsayıları ve Bölge Sıralamalarına Tablo 13’te yer verilmiştir.

Tablo 13. Herbir Bölge için Yakınlık Katsayıları ve Sıralama (Pazar Payı Kriterinin Alt Kriterleri)

Bölgeler	Sıralama	CC <sub>i</sub>
İç Anadolu	1	0,85
Marmara	2	0,54
Karadeniz	3	0,45
Akdeniz	4	0,29

Pazar Payı kriterinin alt kriterleri için uygulanan Bulanık TOPSİS sonucuna göre diğer alt kriterlerde olduğu gibi en yüksek CC<sub>i</sub> değerine sahip olan İç Anadolu Bölgesi, en uygun bölgedir. Bölgeler sıralaması İç Anadolu Bölgesi >MarmaraBölgesi > Karadeniz Bölgesi > Akdeniz Bölgesi şeklindedir.

#### 4. Sonuç

Kuruluş yeri için doğru kararın verilmesi geçmişten günümüze önem arz eden bir konudur. Özellikle günümüzde artan rekabet koşulları nedeniyle kuruluşların pazarlarda bir yere sahip olabilmesi, büyümesi için yeni kurulacak tesis yeri seçimi oldukça önemli hale gelmiştir. Bu durum, çalışmanın uygulama alanı olan Mobilya Fabrikası için de geçerlidir. Mobilya Fabrikası için ilk kuruluş yerinin doğru seçilmesi fabrikanın geleceği açısından çok önemlidir.

Yer seçim uygulamalarında karar verme sürecinde sıklıkla sayısal yöntemlere başvurulmaktadır. ÇKKV yöntemleri, yer seçim alanında uygulanan sayısal yöntemlerin başında gelmektedir. Bu yöntemler karar vericilerin karar verme süreçlerini kolaylaştırıcı yöntemlerdir.

Çalışmamızda, bir Mobilya Fabrikası bölge seçimi için kriter ağırlıklarının belirlenmesinde etkin bir araç olan Bulanık AHP ile aday kuruluş yerlerinin doğru şekilde sıralanmasında etkili olan, Bulanık TOPSİS yöntemleri uygulanmıştır.

Mobilya Fabrikası yer seçimi ile ilgili literatür incelendiğinde yeri seçimini etkileyen çok sayıda faktör ortaya çıkmaktadır. Çalışmada fabrika yer seçiminin ilk adımı olan bölge seçimi için belirlenen 3 ana kriter, Üretim, Ekonomi ve Pazar Payı ile bu ana kriterlerin alt kriterleri incelenmiştir. Çalışmanın ilk adımında, kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır.

Sonuçta, ana kriterler için uygulanan Bulanık TOPSİS sonucuna göre Mobilya Fabrikası için en uygun bölge Marmara Bölgesi olarak bulunmuştur. Alt kriterler için uygulanan Bulanık TOPSİS sonucunda üç alt kriter için bölge sıralamasında İç Anadolu Bölgesi en uygun bölge olarak bulunmuştur.

Marmara ve İç Anadolu Bölgeleri, Türkiye’de mobilya fabrikalarının en yoğun olarak bulunduğu iki bölgemizdir. Her iki bölgemiz de ulaşım kolaylığı, işgücü potansiyeli, hammaddeye yakınlık, pazar avantajları ile ön plana çıkan bölgelerdir. Uygulamada elde edilen sonuçlar da bu durumu destekler niteliktedir.

Bu çalışmada, bir mobilya fabrikası kuruluş yer seçimi bölgesel bazda ele alınmıştır. Sonraki çalışmalar için, bölge içinde (il ya da ilçesi) mobilya fabrikası kuruluş yer seçiminin farklı ÇKKV teknikleri kullanılarak uygulanması önerilebilir.

#### Kaynakça

- Azizi, M., Mohebbi, N., Gargari, R. M., & Ziaie, M. (2015). A strategic model for selecting the location of furniture factories: a case of the study of furniture. *Int. J. Multicriteria Decision Making*.
- Çınar, N. T. (2010). Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık TOPSİS Yöntemi ve Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 37-45.

- Denizhan, B., Yalçınar, A. Y., & Berber, Ş. (2017). Analitik Hiyerarşi Proses ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemleri Kullanılarak Yeşil Tedarikçi Seçimi Uygulaması. *Neşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 63-78.
- Giannoulis, C., & Ishizaka, A. (2010). A Web-based decision support system with ELECTRE III for a personalised ranking of British universities. *Decision Support Systems*, 488-497.
- Gül, M., Güneri, A. F., & Selvi, A. E. (2014). Bulanık Karar Verme Yaklaşımları Kullanılarak Matris (L-Matris) Metodu Bazlı Risk Değerlendirmesi. *VII. Uluslararası İSG Konferansı*. İstanbul.
- İmren, E., Karayılmazlar, S., & Kurt, R. (2016). Selection of Optimal Establishment Place Using AHP (Analytical Hierarchy Process): An Application of Furniture Industry. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 48-54.
- Kaptanoğlu, D., & Özok, A. F. (2006). Akademik Performans Değerlendirmesi için Bir Bulanık Model. *İTÜ Mühendislik Dergisi*, 193-204.
- Karakışoğlu, N. (2008). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Miç, P., & Antmen, Z. F. (2019). A Healthcare Facility Location Selection Problem with Fuzzy TOPSIS Method for a Regional Hospital. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 750-757.
- Organ, A., & Kenger, M. D. (2012). Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Mortgage Banka Kredisi Seçim Problemine Uygulanması. *Niğde Üniversitesi İİBF Dergisi*, 119-135.
- Saaty, T. L. (1970). How to Make a Decision The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 9-26.
- Suman, M. N., Sarfaraj, N., Chyon, F. A., & Fahim, R. I. (2021). Facility location selection for the furniture industry of Bangladesh: Comparative AHP and FAHP analysis. *International Journal of Engineering Business Management*, 1-15.
- Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz, S. E., Gezder, V., & Şengül, A. B. (2015). Fuzzy TOPSIS Method for Ranking Renewable Energy Supply Systems in Turkey. *Renewable Energy*, 617-625.
- Tekez, E. K., & Bark, N. (2016). Mobilya sektöründe bulanık TOPSIS yöntemi ile tedarikçi seçimi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 55-63.
- Tzeng, G. H., & Huang, J. J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group, A Chapman&Hall.
- Üçüncü, T., & Bayram, B. Ç. (2016). Kastamonu Orman Ürünleri Endüstrisinde Kuruluş Yeri Seçimini Etkileyen Faktörlerin AHP Metodu İle İncelenmesi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 599-606.



# Türkçe Sosyal Medya Yorumlarındaki Siber Zorbalığın Derin Öğrenme ile Tespiti

Gözde Nergiz<sup>1\*</sup>, Erdiñç Avaroğlu<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5018-2031), [gozdennergiz01@gmail.com](mailto:gozdennergiz01@gmail.com)

<sup>2</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1976-2526), [eavaroglu@gmail.com](mailto:eavaroglu@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 27 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.987259)

**ATIF/REFERENCE:** Nergiz, G., Avaroğlu, E. (2021). Türkçe Sosyal Medya Yorumlarındaki Siber Zorbalığın Derin Öğrenme ile Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 77-84.

## Öz

Siber zorbalık, internet teknolojisinin gelişimi ve sosyal ağlara erişim kolaylığı ile birlikte büyük bir problem haline dönüşmüştür. Bir kişi veya grup tarafından gerçekleştirilen siber zorbalık, başkalarını taciz etmek için bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanılması anlamına gelir. İntihar ile sonuçlanan siber zorbalık vakaları siber zorbalık tespitini önemli hale getirmiştir. Bu çalışmada günümüzde yaygın olarak kullanılan Twitter, Instagram ve Youtube sosyal ağlarından toplanan Türkçe yorumlar üzerinde siber zorbalık tespiti yapılmıştır. Derin öğrenme tabanlı kelime gömme modelleri kullanılarak sınıflandırma modelleri oluşturulup başarı oranları karşılaştırılmıştır. % 93,15 başarı oranı ile en başarılı sonucu veren model Fasttext modeli olmuştur. Fasttext modeli ile LSTM sinir ağı kullanılarak sosyal medya yorumlarının sınıflandırılması sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sosyal Ağlar, Derin Öğrenme, Fasttext, LSTM, Siber Zorbalık.

## Detection of Cyberbullying in Turkish Social Media Comments with Deep Learning

### Abstract

Cyberbullying has become a big problem with the development of internet technology and ease of access to social networks. Cyberbullying is by a person or group refers to the use of information and communication technologies to harass others. Cyberbullying cases resulting in suicide have made the detection of cyberbullying important. In this study, cyberbullying was detected on Turkish comments collected from Twitter, Instagram and Youtube social networks, which are widely used today. Classification models were created using deep learning-based word embedding models and success rates were compared. The model that gave the most successful result with a success rate of 93.15% was the Fasttext model. Classification of social media comments is provided by using fasttext model and LSTM neural network.

**Keywords:** Social Networks, Deep Learning, Fasttext, LSTM, Cyberbullying.

\* Sorumlu Yazar: [gozdennergiz01@gmail.com](mailto:gozdennergiz01@gmail.com)



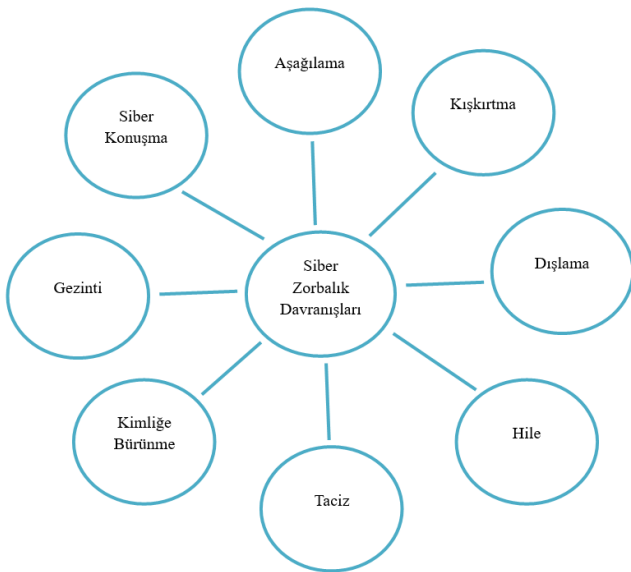
## 1. Giriş

Sosyal medya platformları, insanların birbirleriyle iletişim kurmaları, güncel olaylardan haberdar olmaları ve sosyalleşmeleri açısından faydalı araçlardır. Fakat kötü niyetli kullanıcıların elinde bazen tehlikeli bir araç haline dönüşebilmektedir. Dalga geçmek, tehdit etmek, küfür etmek, taciz etmek gibi siber zorbalık davranışları sosyal medyanın kötü niyetli kullanımına örnek olarak gösterilebilir [1].

Siber zorbalık, bilgisayarlar, akıllı telefonlar gibi çeşitli teknolojik araçları kullanarak bir kişiye veya gruba zarar vermek amacıyla kasıtlı ve sürekli olarak gerçekleştirilen davranışlardır [2]. Siber zorbalık, sosyal ağlar üzerinde 8 farklı yolla gerçekleştirilebilmektedir.

- **Aşağılama:** Bir kişi hakkında internette asılsız söylentiler yayarak onu küçük düşürmek.
- **Dışlama:** Bir kişiyi çevrimiçi gruplardan kasıtlı olarak dışlamak.
- **Kışkırtma:** Bir kişiyi çevrimiçi tartışmalara teşvik etmek için kırıcı, kaba, saldırgan bir dil içeren mesajlarla kışkırtmak.
- **Hile:** Bir kişiyi kişisel bilgilerini veya fotoğraflarını almak için kandırmak ve bu bilgileri sosyal medyada paylaşmak.
- **Taciz:** Hedef kişiye sürekli olarak saldırgan, kötü niyetli mesajlar göndermek veya bu mesajları çevrimiçi olarak paylaşmak.
- **Kimliğe Bürünme:** Hedef kişi adına sahte profil oluşturarak veya hesaplarını hackleyerek onun itibarını zedeleyecek zararlı paylaşımlarda bulunmak.
- **Gezinti:** Bir kişiye ait özel bilgileri, fotoğrafları kişiden habersiz bir şekilde onu aşağılamak, utandırmak için sosyal ağlarda paylaşmak.
- **Siber Konuşma:** Hedef kişiye şiddet uygulayacağını ifade eden, tehdit içerikli, korkutucu mesajlar göndermek.

Siber zorbalık davranışları Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Siber Zorbalık Davranışları

Sosyal medya kullanımının yaygınlaşması ve kullanıcı yaşının giderek düşmesi ile birlikte özellikle çocuklar ve gençler Twitter, Instagram, Youtube gibi sosyal medya platformlarında siber zorbalığa çok sık maruz kalabilmekte ve siber zorba olma eğilimi göstermektedirler [3]. İnsanlarla dalga geçmek, eğlenmek, popüler olmak, siber zorbalığa maruz kaldığı için intikam almak vb. sebeplerden dolayı çocuklar siber zorbalık yapabilmektedirler.

Siber zorbalıkta, klasik zorbalıkta olduğu gibi zorba ile mağdur arasında fiziksel bir temas yoktur. Fakat mağdur depresyon, özgüven kaybı, insanlara güvenememe, okul derslerinde başarısızlık, intihar eğilimi gösterme gibi psikolojik problemler yaşayabilmektedir.

Siber zorbalığın sanal ortamda anonim olarak gerçekleştirilebiliyor olması siber zorbayı tespit etmede ve siber zorbalığı önlemede büyük bir dezavantajdır. Çünkü suçu işleyen belli olmadığından bu suçun önüne geçmek için caydırıcı cezalar vermekte mümkün olmamaktadır. Böylece zorba farklı isimlerle gerçek kimliğini gizleyerek insanlara zarar vermeye rahatlıkla devam edebilmektedir. Zorba, insanların birbirleriyle olan iletişimlerine, sosyal ilişkilerine, psikolojik durumlarına zarar verebilmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek zararları en aza indirebilmek için siber zorbalığın tespit edilmesi gerekir. Bu çalışmada, derin öğrenme yöntemleri ile sosyal ağlardaki siber zorbalık içeren Türkçe yorumları tespit etmek amaçlanmıştır.

Derin öğrenme, insan müdahalesine ihtiyaç duymadan kendi kendine öğrenme yeteneğine sahip bir makine öğrenmesi tekniğidir. Derin öğrenme verilerden özellik çıkarımını otomatik olarak gerçekleştirir ve yüksek boyutlu verilerde daha iyi performans göstermesi gibi avantajları sayesinde makine öğrenmesinin önüne geçmektedir.

Siber zorbalık tespiti işlemi veri kümesinin oluşturulması, veri ön işleme, derin öğrenme yöntemleri ile modeller oluşturma, sınıflandırma ve sonuç adımlarından oluşmaktadır.

Veri kümesi, Twitter, Instagram ve Youtube sosyal medya platformlarından Türkçe yorumlar toplanarak oluşturulmuştur. Pozitif ve negatif olmak üzere veri kümesi iki kategoriye ayrılmıştır. Pozitif, siber zorbalık içermeyen verileri negatif ise siber zorbalık içeren verileri ifade etmektedir. Veri kümesi her bir kategori için 90.000 olmak üzere toplamda 180.000 yorumdan oluşmaktadır.

Sosyal ağlar, kullanıcılar yorum paylaşırken belirli bir karakter uzunluğuna kadar paylaşım izin vermektedir. Bu nedenle kullanıcılar bazı kelimeleri kısaltarak paylaşım yapabilmektedir. Ayrıca kullanıcılar yazım kurallarına dikkat etmeden günlük hayatta kullandıkları dil ile paylaşım yapabilmektedir. Ancak bu tür gürültülü veriler içeren metinler üzerinde sınıflandırma işlemi gerçekleştirmek zordur. Gürültülü verileri temizlemek ve verileri uygun formata getirmek için doğal dil işleme yöntemleri kullanılmaktadır. Veri setindeki gürültüler ön işleme adımları uygulanarak temizlenmiştir.

Verilere ön işleme uygulandıktan sonra kelimelerin sayısal ifadelerini elde etmek için kelime gömme yöntemleri kullanılmıştır. Fasttext, Word2Vec ve Doc2Vec kelime gömme yöntemleri ile 3 model oluşturulmuştur. Geliştirilen bu derin öğrenme tabanlı modeller üzerinde LSTM ile sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın bölümleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir. İkinci bölümde literatürde bulunan siber zorbalık tespiti çalışmaları,

üçüncü bölümde materyal ve metot, dördüncü bölümde araştırma sonuçları ve tartışma, son bölümde ise sonuçlar açıklanmıştır.

## 2. İlgili Çalışmalar

Son zamanlarda siber zorbalık suçunun artışı ile birlikte siber zorbalığın tespitine yönelik çalışmaların sayısında da artış görülmektedir. Bu bölümde literatürde bulunan siber zorbalık tespiti ile ilgili çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

Zhang ve arkadaşları [4] yaptıkları çalışmada siber zorbalığı tespit etmek için telaffuz tabanlı evrişimli sinir ağını önermişlerdir. Çalışmada kullanılan Twitter ve Formspring.me veri setlerine önce ön işleme adımları sonra kelimededen telaffuza dönüştürme işlemi uygulanmıştır. Kelimelerin fonetik temsilleri elde edildikten sonra bu temsiller evrişimli sinir ağlarında özellik olarak kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, önerilen yaklaşımın veri setlerinde yüksek performans sağladığı gözlemlenmiştir.

Soni ve Singh [5] yorum yapma davranışının zamansal dinamiklerini modellemişlerdir. Sundukları çalışmada siber zorbalığın tek bir yoruma bağlı olmadığını, çevrimiçi bir yorum dizisinde veya oturumda bireyler arasında tekrarlanan etkileşimlerin birleşik etkisi olduğunu düşündüklerini ifade ederek farklı bir yaklaşım önermişlerdir. Siber zorbalık içeren ve içermeyen sosyal medya oturumları arasındaki zamansal farklar hesaplanıp özellik olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak, önerilen yaklaşımın siber zorbalık tespitinde performans artışı sağladığı görülmüştür.

Özel ve arkadaşları [6] sundukları çalışmada Twitter ve Instagram platformlarından manuel olarak topladıkları 900 tane Türkçe mesajdan oluşan bir veri seti kullanmışlardır. Destek Vektör Makineleri (SVM), Karar Ağacı (C4.5), Naive Bayes Multinomial (NBM), K En Yakın Komşu (KNN) sınıflandırıcılarından oluşan makine öğrenmesi tekniklerini kullanarak siber zorbalığı tespit etmişlerdir. Sınıflandırma doğruluğunu artırmak için bilgi kazanımı ve ki-kare özellik seçim yöntemlerini uygulamışlardır. Özellik seçim yöntemleri uygulandıktan sonra sınıflandırma doğruluğunu % 84'e kadar artırmışlardır.

Bozyiğit ve arkadaşları [7] çalışmalarında 3000 adet Türkçe Twitter mesajlarını içeren bir veri seti oluşturmuşlardır. Veri setindeki Türkçe yazım kurallarına uymayan sanal zorbalık ifadelerini düzeltmek için bir algoritma geliştirmişlerdir. Veri setine geliştirdikleri algoritma ve ön işleme adımlarını uyguladıktan sonra makine öğrenmesi algoritmalarını kullanarak sınıflandırma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Sınıflandırma sonucunda Destek Vektör Makineleri, Multinomial Naive Bayes, ve K En Yakın Komşu yöntemlerinin en iyi sınıflandırma performansına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Ön ve Yeniterzi [8] çalışmalarında Bozyiğit ve arkadaşlarının [7] paylaştığı 3000 Türkçe Tweet içeren veri seti üzerinde derin öğrenme teknikleri kullanarak siber zorbalık tespiti gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada önceden eğitilmiş 3 farklı kelime vektör temsillerini kullanarak bunların siber zorbalık tespitine etkisini incelemişlerdir. Kelime vektör temsilleri ile Evrişimsel Sinir Ağı Modelleri (CNN) kullanarak 3 farklı model oluşturmuşlardır. Bu 3 modelin yanı sıra rastgele kelime vektör temsilleri kullanılarak oluşturulan bir CNN modelini de kullanmışlardır. Sınıflandırma sonucunda 0,937 F1

skoru elde eden rastgele kelime temsilleri ile oluşturulan CNN modeli en yüksek başarı oranını yakalamıştır.

Balakrishnan ve arkadaşları [9] siber zorbalık tespitini iyileştirmek için Twitter kullanıcılarının kişilikleri, duyguları ve duygusallıkları dahil olmak üzere psikolojik özelliklerinden yararlanan yeni bir siber zorbalık tespit modeli önermişlerdir. Kullanıcı kişiliklerinin belirlenmesinde Big Five(dışadönüklük, uyumluluk, dürüstlük, nevroitiklik ve açıklık) ve Dark Triad(makyavelcilik, psikopati ve narsisizm) modellerini kullanmışlardır. Temel algoritma olarak Twitter tabanlı özellikleri(metin, kullanıcı ve ağ tabanlı özellikler) tercih etmişlerdir. Temel algoritmanın yanı sıra psikolojik özellikleri dahil eden farklı modeller oluşturmuşlardır. 5453 tweet içeren veri kümesini zorba, saldırgan, spam gönderen ve normal olmak üzere dört kategoriye göre Naive Bayes, Random Forest ve J48 algoritmalarını kullanarak sınıflandırmışlardır. Sınıflandırma sonuçları değerlendirildiğinde kişilik özellikleri ve duygusallık kullanıldığında siber zorbalık tespitinin arttığını ancak duygu kullanıldığında bir artış olmadığı gözlemlenmiştir. Kişilik özellikleri üzerinde yapılan analizde ise siber zorbalığı tespit etmede diğer özelliklere kıyasla dışadönüklük, uyumluluk, nevroitiklik ve psikopati özelliklerinin daha etkili olduğu görülmüştür.

Laxmi ve arkadaşları [10] yaptıkları çalışmada Endonezyadaki siber zorbalık eylemlerini önlemek amacıyla Endonezya dilindeki 1425 tweet'ten oluşan veri kümesini kullanmışlardır. Veri kümesine ön işleme adımları uygulandıktan sonra Doc2Vec yöntemini kullanarak kelimelerin vektörel temsillerini elde etmişlerdir. CNN, SVM ve RF sınıflandırıcılarını kullanarak dengeli ve dengesiz veri kümeleri üzerinde iki tür deney gerçekleştirmişlerdir. Sınıflandırma sonucunda sınıflandırıcıların dengeli bir veri kümesinde siber zorbalık içeren tweet'leri daha iyi tespit edebileceği gözlemlenmiştir. CNN ve Doc2Vec modeli % 65,08 F1 puanı ile diğer sınıflandırma yöntemlerinden daha başarılı olmuştur.

Alsubait ve Alfageh [11] çalışmalarında siber zorbalığı tespit etmek için Arapça Youtube yorumlarından oluşan herkese açık hazır bir veri seti kullanmışlardır. Sayım vektörü ve TfIdf vektörü yöntemleri kullanılarak özellik çıkarımı yapılmıştır. Makine öğrenmesi algoritmalarından Multinomial Naive Bayes, Complement Naive Bayes ve Logistic Regression kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, sayım vektörü kullanıldığında % 78,6 F1 puanı ile Logistic Regression modeli diğer modellerden daha başarılı olmuştur. TfIdf vektörü kullanıldığında ise Complement Naive Bayes modeli % 78,6 F1 puanı ile daha yüksek performans göstermiştir.

Razvani ve Beheshti [12] 2021 yılında yaptıkları çalışmada dikkat temelli bağlam destekli bir siber zorbalık algılama yaklaşımı önermişlerdir. Çalışmada iki farklı veri seti kullanmışlardır. Instagram ve Twitter platformlarından elde edilen veri kümeleri beğenileri, arkadaşlık grafiklerini, görüntüleri ve yorumları içermektedir. Metinsel özelliklerin yanında görüntülerden çıkarılan özellikler, sosyal ağ meta verileri ve dış bilgi tabanları gibi bağlamsal özellikleri de ekleyerek metinsel özellikleri zenginleştiren bir yöntem sunmuşlardır. Geleneksel sinir ağı, LSTM ve ALBERT ağının kullanıldığı sınıflandırıcı modelleri oluşturmuşlardır. ALBERT ağının kullanıldığı modeller metinsel ve bağlamsal özellikleri birleştiren önerilen modellerdir. Sınıflandırma işlemi gerçekleştirildikten sonra önerilen yöntemin diğer yöntemlerden daha iyi performans sağladığı görülmüştür.

Luo ve arkadaşları [13] siber zorbalığı tespit etmek için BİGRU katmanı, dikkat mekanizması katmanı, CNN katmanı, tam bağlantılı katman ve sınıflandırma katmanından oluşan bir BİGRU-CNN duygu sınıflandırma modeli(GCA: BiGRU+CNN+ATTENTION) önermişlerdir. Modeli eğitmek ve test etmek için Kaggle platformundan alınan veri setini ve sosyal ağlardan toplanan emoji veri setini kullanmışlardır. Kelimeler arasındaki ilişkiyi öğrenmek için Glove kelime gömme yöntemini tercih etmişlerdir. GCA modelinde bulunan dikkat mekanizması katmanı kelimelerin dikkat ağırlıklarını hesaplamak ve bu ağırlıklardan özel anlamlı kelimeleri seçmek için kullanılmıştır. GCA modeli ile birlikte MLP, CNN, BİGRU, BİLSTM-ATTENTION, BİGRU-ATTENTION modelleri de eğitilerek sınıflandırma doğruluk oranları karşılaştırılmıştır. Önerilen GCA modeli % 91,07 doğruluk oranı ile diğer modellerden daha başarılı olmuştur.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde bazı çalışmalar siber zorbalık tespitinin özellik çıkarımı aşamasında farklı yöntemler kullanırken sadece birkaç çalışma kelime gömme yöntemlerini kullanmıştır. Ayrıca, İngilizce dilinde yapılan çalışma sayısı oldukça fazla iken Türkçe dilinde hala yeteri kadar çalışma bulunmamaktadır. Literatüre katkıda bulunmak amacıyla bu çalışmada sosyal ağlardan Türkçe metinler toplanarak siber zorbalık tespiti için Türkçe dilinde en büyük veri kümesi oluşturulmuştur. Oluşturulan veri kümesi üzerinde kelime gömme yöntemleri uygulanarak sınıflandırma başarısına olan etkisi incelenmiştir.

### 3. Materyal ve Metot

#### 3.1. Veri Kümesi

Veri kümesi Twitter, Instagram, Youtube sosyal ağlarından elde edilen Türkçe yorumlardan oluşturulmuştur. Yorumlar toplanırken özel hayatın gizliliğini ihlal etmemek adına herkese açık sayfalar ve hashtagler kullanılmıştır. Hashtagler ve herkese açık sayfalar belirlenirken siber zorbalık içerebilecek yorumlar bulundurmasına dikkat edilmiştir. Yorumlar toplanırken Python programlama dili ve Selenium aracı tercih edilmiştir.

Selenium, bir web tarayıcı otomasyon aracıdır. Öncelikli olarak web uygulamalarını test etmek için kullanılmaktadır. Fakat seçilen bir tarayıcıyı açmak, butonlara tıklamak, formlara bilgi girmek, web sayfalarında belirli bilgileri aramak gibi insanın yapacağı görevleri de gerçekleştirebilmektedir. Selenium yardımıyla belirlenen hashtagler veya herkese açık olan sayfaların isimleri aratılıp çıkan sonuçlar altındaki yorum bilgileri elde edilerek veri kümesi oluşturulmuştur. Veri setine ait kelime bulutu gösterimi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Veri Seti Kelime Bulutu Gösterimi

Veri kümesinde Twitter platformundan pozitif ve negatif kategorilerin her biri için 42.178 toplamda 84.356, Instagram platformundan her bir kategori için 21.340 toplamda 42.680, Youtube platformundan her bir kategori için 26.482 toplamda 52.964 adet yorum bulunmaktadır. Veri kümesinin % 80’i eğitim adımında % 20’si ise test adımında kullanılmıştır.

#### 3.2. Ön İşleme

Sosyal medya yorumlarında kelimelerin yanlış yazılması, uzatılarak veya kısaltılarak yazılması, özel ifadelerin kullanılması yorumların gürültülü veriler içerdiğini göstermektedir. Verileri Türkçe yazım kurallarına uygun hale getirmek, gürültülü verilerden temizlemek için ön işleme adımları uygulanmıştır.

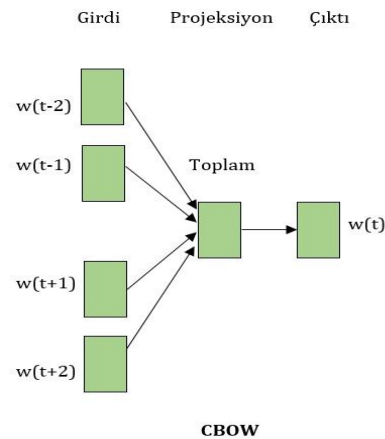
Veri setinden @ ile başlayan kullanıcı adları, # ile başlayan hashtagler, web adresleri, gereksiz boşluklar, emoji, noktalama işaretleri ve rakamlar temizlenmiştir. Tüm harfler küçük harflere dönüştürülmüştür. “ve”, “veya”, “ile”, “ki”, “de” gibi cümlenin anlamını etkilemeyen kelimeler veri setinden temizlenmiştir. Uzatılarak yazılan yorumlar içerisinde ikiden fazla tekrar eden harfler Türkçe yazım kuralına uygun bir şekilde düzeltilmiştir. Türkçe dilinin yapısı gereği kök bulma işlemi kelimelerin anlamını değiştireceğinden uygulanmamıştır. Ön işleme aşamaları Türkçe dili için geliştirilmiş olan Zemberek doğal dil işleme kütüphanesi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Veriler üzerinde ön işleme adımları uygulanarak kelimelerin sayısal temsillerini elde etmek için uygun formata getirilmiştir.

#### 3.3. Kelime Gömme Modelleri

Kelime gömme, kelimeleri sayısal vektörlere dönüştürmek için kullanılan bir yöntemdir. Benzer anlamlara sahip kelimelerin vektörleri birbirine yakındır. Her kelime bir vektör ile temsil edilmekte ve vektörler sinir ağları yardımıyla öğrenilmektedir. Bu çalışmada Word2Vec, Fasttext ve Doc2Vec modelleri kullanılmıştır.

Word2Vec, kelimelerin vektörel temsillerini elde edip kelimeler arasındaki mesafeyi hesaplayarak aralarındaki anlamsal benzerliği tespit etmek için geliştirilmiş bir yöntemdir [14]. Temelinde yapay sinir ağları barındırmaktadır. CBOW ve Skip-Gram olmak üzere iki öğrenme modeli içermektedir.

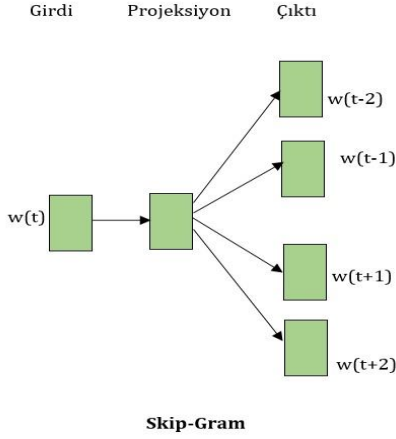
CBOW, hedef kelimenin çevresindeki komşu kelimeleri girdi olarak almakta ve bu kelimelerden hedef kelimeyi tahmin etmeye çalışmaktadır. CBOW modeli Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. CBOW Modeli [15]



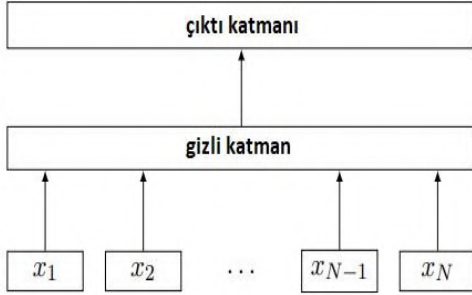
Skip-Gram ise hedef kelimeyi girdi olarak almakta ve çevresindeki komşu kelimeleri tahmin etmeye çalışmaktadır. Skip-Gram modeli Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Skip-Gram Modeli [15]

CBOW, sık kullanılan kelimeleri daha iyi temsil etmektedir ve Skip-Gram'a göre daha hızlıdır. Skip-Gram ise nadir kullanılan kelimeleri daha iyi temsil etmekte ve veri miktarının az olduğu durumlarda daha iyi performans göstermektedir.

Fasttext, kelimelerin karakter n-gramlarını kullanarak sayısal vektörler oluşturan Word2Vec tabanlı bir yöntemdir [16]. Word2vec yönteminde kelimelerin vektörleri oluşturulup yapay sinir ağlarına girdi olarak verilirken Fasttext yönteminde her kelimenin karakter n-gramlarının toplamından sayısal vektörler elde edilerek yapay sinir ağlarına girdi olarak verilmektedir. Bu nedenle Fasttext, veri kümesinde bulunmayan veya cümlelerde nadir geçen kelimelerin vektör temsillerini oluşturmada daha başarılıdır. Fasttext modeli Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Fasttext Modeli [17]

Doc2Vec, Word2Vec mimarisine paragraf vektörlerinin eklenmesi ile oluşturulmuş bir yöntemdir. Doc2Vec ile üretilen vektörler belgeler arasındaki benzerlikleri bulmak için kullanılabilir. Belgenin uzunluğunun bir önemi olmadan sayısal vektörler oluşturabilmektedir [18]. PV-DM ve PV-DBOW olmak üzere iki öğrenme modeline sahiptir.

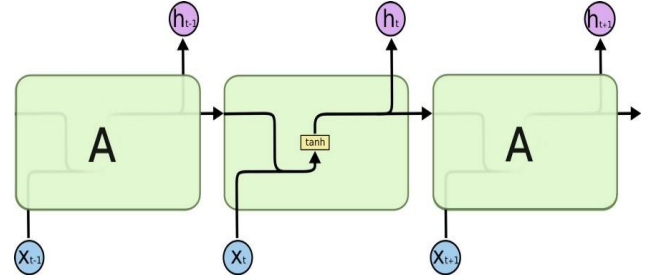
PV-DM, Word2Vec mimarisindeki CBOW modeline karşılık gelmektedir. CBOW modelinde tahmin yapmak için kelimelerin vektörlerine ihtiyaç duyulurken, PV-DM modelinde kelimelerin vektörlerinin yanı sıra paragraf vektörüne de ihtiyaç duyulmaktadır.

PV-DBOW, PV-DM'den farklı olarak bir sonraki kelimeyi tahmin etmek yerine paragraf vektörünü kullanarak belgedeki kelimeleri sınıflandırmaktadır. Word2Vec mimarisindeki Skip-Gram modeline karşılık gelmektedir.

Bu çalışmada kelimelerin vektör temsillerini elde etmek için Word2Vec, Fasttext ve Doc2Vec modelleri oluşturulmuştur. Word2Vec modelini oluşturmak için Skip-Gram, Fasttext için n-gram, Doc2Vec için PV-DBOW yöntemi kullanılmıştır. Modellerin oluşturulması için gerekli en uygun parametre değerleri belirlenmiştir. Vektör boyutu 100, pencere boyutu 5, minimum kelime sayısı 5, workers değeri 400 olarak belirlenmiştir. 3 farklı modelin ürettiği vektör matrisleri sınıflandırma aşamasında oluşturulacak modelin embedding katmanında kullanılacaktır.

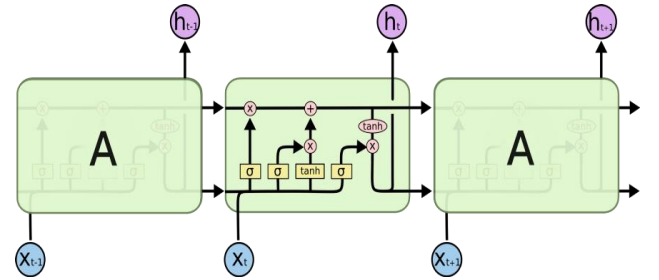
### 3.4. Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM)

Tekrarlayan sinir ağları (RNN), sıralı bilgileri işlemek için kullanılan yapay sinir ağlarıdır. İleri beslemeli sinir ağlarında girdiler ve çıktılar birbirinden bağımsızken RNN'lerde bir önceki adımın çıktısı mevcut adımın girdisi ile birlikte beslenir [19]. İleri beslemeli sinir ağlarında sonraki adımda tahmin yapabilmek için geçmişteki bilgileri hatırlayabilme özelliği yoktur. RNN'ler bu probleme çözüm bulmak için geliştirilmiş sinir ağlarıdır. RNN'lerin kendilerine ait hafızaları vardır ve bu hafızalar sayesinde geçmişteki bilgileri hatırlayabilmektedirler. RNN'ler kısa vadeli hafızalara sahiptirler. Bu nedenle uzun zaman önceki bilgileri hatırlamakta zorluk çekmektedirler. RNN mimarisi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. RNN Mimarisi [20]

Uzun kısa süreli bellek (LSTM), uzun vadeli hafızaları sayesinde RNN'lerin hafıza problemine çözüm olmuştur. RNN'den farklı olarak LSTM'lerde uzun zaman önceki bilgileri hatırlamak için kullanılan hafıza hücreleri bulunmaktadır. LSTM mimarisi giriş kapısı, çıkış kapısı, unutma kapısı ve hafıza hücreleri olmak üzere 4 katmana sahiptir [21]. LSTM mimarisi Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. LSTM Mimarisi [20]

Sınıflandırma yapabilmek için Word2Vec ile elde edilen vektör matrisleri kullanılarak Sınıflandırma Modeli 1, Fasttext ile Sınıflandırma Modeli 2 ve Doc2Vec ile Sınıflandırma Modeli 3 isimli sınıflandırma modelleri oluşturulmuştur. Sınıflandırma modelleri giriş katmanı, gizli katman, dense katmanı ve çıkış katmanından oluşmaktadır.

Vektör matrisleri yardımıyla oluşturulan embedding katmanı giriş katmanı olarak kullanılmıştır.

Gizli katmanda Sınıflandırma Modeli 1, Sınıflandırma Modeli 2 ve Sınıflandırma Modeli 3 isimli modellere LSTM sinir ağı parametre olarak verilmiştir. Sigmoid fonksiyonu aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Dropout katmanı kullanılarak modellerin aşırı öğrenme probleminin önüne geçilmiştir.

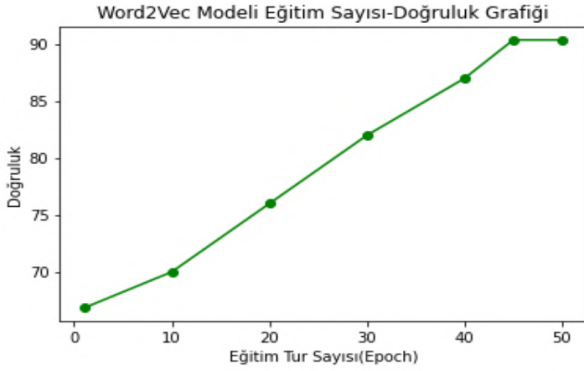
Dense katmanına LSTM ile elde edilen çıktı verilmiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak relu fonksiyonu kullanılmıştır.

Çıkış katmanında softmax aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Çıkış katmanı pozitif ve negatif sınıfları için 2 nörona sahiptir. Bu nöronlar sınıflandırma işlemi sonucunda her iki sınıf için de olasılıksal olarak değerler elde etmeyi sağlar.

#### 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

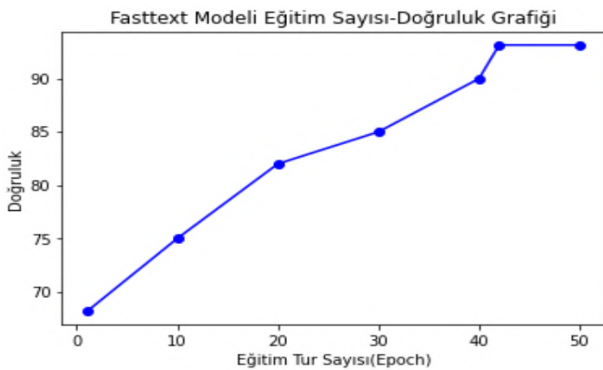
3 farklı sosyal medya platformundan toplanan 180.000 yorumdan oluşan veri kümesinin % 80'i eğitim % 20'si test işlemi için kullanılmıştır. Oluşturulan sınıflandırma modelleri üzerinde eğitim ve test aşamaları uygulanmıştır. Modellerin eğitimi sırasında veriler belirli bölümler halinde eğitilmiştir. Eğitim işlemi tek bir adım yerine başarı oranına göre her seferinde ağırlıklar güncellenerek gerçekleştirilen birden fazla eğitim adımından oluşur. Her bir eğitim adımı epoch olarak isimlendirilmektedir. Sınıflandırma modellerinin eğitimi sırasında epoch değeri başlangıçta 10 olarak belirlenmiştir ve en iyi başarı oranı elde edilene kadar epoch değeri artırılmıştır.

Word2Vec ile tasarlanan sınıflandırma modelinin 45. eğitim adımından sonra başarı oranının artmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 8'de modele ait epoch değerleri ve doğruluk değerleri gösterilmiştir.



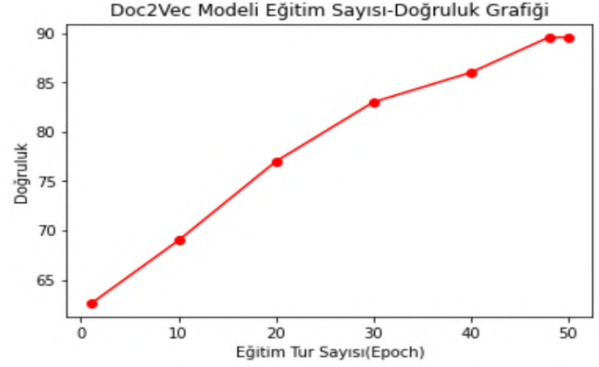
Şekil 8. Word2Vec Modeli Doğruluk Grafiği

Fasttext ile oluşturulan 2. Sınıflandırma modeli eğitilirken başarı oranı 42. adımdan sonra sabit kalmıştır. Modelin epoch değerlerine göre oluşan başarı oranları Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Fasttext Modeli Doğruluk Grafiği

Doc2Vec kullanılarak tasarlanan sınıflandırma modelinin başarı oranının 48. eğitim adımından sonra sabit kaldığı ve eğitim işlemi tamamladığı gözlemlenmiştir. Modelin epoch değerleri ve başarı oranları Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Doc2Vec Modeli Doğruluk Grafiği

Loss (kayıp) ve accuracy (doğruluk) değerleri, modellerin başarı oranlarını ölçmeyi sağlayan değerlerdir. Sınıflandırma modellerinin başarı oranları bu değerler dikkate alınarak değerlendirilmektedir.

Loss değeri, modelin tahmin ettiği değer gerçek değerden ne kadar farklı olduğunu göstermektedir [22]. Bu değer 0'a yakın bir değer olması modelin başarılı olduğunu, 0'dan büyük bir değer ise modelin başarısız olduğunu, 0'a eşit ise modelin aşırı öğrenerek ezberleme yaptığını göstermektedir.

Accuracy değeri, doğru tahmin edilen değerlerin oranını göstermektedir [22]. Eğer bir modelin loss değeri düşük, accuracy değeri büyük ise o model başarılı bir modeldir.

Bu çalışmada accuracy ve loss değerlerini hesaplamak için Binary Cross-Entropy loss fonksiyonu kullanılmıştır. Binary Cross-Entropy loss fonksiyonu, ikili sınıflandırmada kullanılan gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki çapraz entropi kaybını hesaplayan bir fonksiyondur. Bu fonksiyona ait matematiksel formül denklem (1)'de gösterilmiştir.

$$L(y, \hat{y}) = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i * \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) * \log(1 - \hat{y}_i)) \quad (1)$$

Denklemdaki y gerçek değeri,  $\hat{y}$  tahmin edilen değeri, N ise toplam veri sayısını temsil etmektedir.

3 sınıflandırma modeline ait sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Sınıflandırma Modellerinin Sonuçları

	Sınıflandırma Modelleri		
	1	2	3
Kelime Gömme Modeli	Word2Vec	Fasttext	Doc2Vec
Eğitim Verisi	144.000	144.000	144.000
Test Verisi	36.000	36.000	36.000
Eğitim Adımı/ Epoch Değeri	50/45	50/42	50/48



Accuracy (Doğruluk) Değeri	0,9138	0,9315	0,8956
Loss (Kayıp) Değeri	0,1803	0,1642	0,1927

Tablo 1’de gösterilen sonuçlar epoch değeri artırılarak gerçekleştirilen eğitim ve test işlemleri sonucunda elde edilen en iyi başarı oranlarıdır. Sonuçlar incelendiğinde Fasttext yönteminin kullanıldığı Sınıflandırma Modeli 2 isimli model % 93,15 başarı oranı sağlayarak en başarılı model olmuştur. Bu model eğitim adımında süre açısından diğer modellere kıyasla düşük performans göstermiş olsa da kelimelerin vektör temsillerini oluştururken n-gram yöntemini kullandığı için daha yüksek bir başarı oranına sahip olmuştur. Genel olarak sınıflandırma modelleri değerlendirildiğinde başarı oranına olumlu etki eden faktörler veri kümesinin pozitif ve negatif sınıflar için eşit sayıda oluşturulması, ön işleme adımları uygulanarak verilerin uygun formata getirilmesi ve modellerin oluşturulma aşamasında en uygun parametre değerlerinin seçilmesidir. Başarı oranının daha fazla artmamasına sebep olan faktörler ise sosyal medya verilerinin yazım kurallarına uymayan yapısı ve Instagram platformundan alınan yorumların içerik bakımından yetersiz olmasıdır.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada 3 farklı sosyal ağdan toplanan Türkçe yorumların siber zorbalık içerip içermediği derin öğrenme teknikleri ile tespit edilmiştir. Veri setindeki kelimelerin sayısal temsillerini oluşturmak için Word2Vec, Fasttext, Doc2Vec kelime gömme modelleri kullanılmıştır. Kelime gömme modelleri sonucunda elde edilen vektör matrisleri ile sınıflandırma modelleri oluşturulmuştur. Modelleri test etmek için LSTM sinir ağı kullanılmıştır. Test sonucunda modeller birbirleri ile karşılaştırılarak en başarılı model tespit edilmiştir. Fasttext kullanılarak oluşturulan Sınıflandırma Modeli 2 isimli model % 93,15 başarı oranı ile diğer modellerden daha başarılı olmuştur.

Gelecekteki çalışmalarda, veri seti üzerinde farklı makine öğrenmesi yöntemleri uygulanarak bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılabilir. Ek olarak, daha doğru tahminler yapabilmek için günlük konuşma dilindeki jargonlar ile ilgili bir lookup table oluşturulup kelimelerdeki hatalar düzeltilip uygun bir standarta getirilebilir.

## 6. Teşekkür

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje: 2019-1-TP2-3339.

## Kaynakça

- [1] Kavuk, M. (2016). Ortaokul ve liselerin siber zorbalık farkındalık profillerinin oluşturulması ve okul paydaşlarına yönelik siber zorbalık farkındalık eğitimi etkinliğinin değerlendirilmesi.
- [2] Aksaray, P. D. S. (2011). SİBER ZORBALIK. Journal of the Cukurova University Institute of Social Sciences, 20(2).
- [3] Campbell, M. A. (2005). Cyber bullying: An old problem in a new guise?. *Journal of Psychologists and Counsellors in Schools*, 15(1), 68-76.
- [4] Zhang, X., Tong, J., Vishwamitra, N., Whittaker, E., Mazer, e-ISSN: 2148-2683

- J. P., Kowalski, R., ... & Dillon, E. (2016, December). Cyberbullying detection with a pronunciation based convolutional neural network. In *2016 15th IEEE international conference on machine learning and applications (ICMLA)* (pp. 740-745). IEEE.
- [5] Soni, D., & Singh, V. (2018, June). Time reveals all wounds: Modeling temporal characteristics of cyberbullying. In *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media* (Vol. 12, No. 1).
- [6] Özel, S. A., Saraç, E., Akdemir, S., & Aksu, H. (2017, October). Detection of cyberbullying on social media messages in Turkish. In *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)* (pp. 366-370). IEEE.
- [7] Bozyiğit, A., Utku, S., & Nasiboğlu, E. (2018). Sanal zorbalık içeren sosyal medya mesajlarının tespiti. In *3rd International Conference on Computer Sciences and Engineering UBMK*.
- [8] Ön, E. P., & Yeniterzi, R. (2020). Cyberbullying detection using deep learning and word embedding analysis [Derin öğrenme ile siber zorbalık tespiti ve kelime vektör temsili analizi].
- [9] Balakrishnan, V., Khan, S., & Arabnia, H. R. (2020). Improving cyberbullying detection using Twitter users’ psychological features and machine learning. *Computers & Security*, 90, 101710.
- [10] Laxmi, S. T., Rismala, R., & Nurrahmi, H. (2021, August). Cyberbullying Detection on Indonesian Twitter using Doc2Vec and Convolutional Neural Network. In *2021 9th International Conference on Information and Communication Technology (ICOICT)* (pp. 82-86). IEEE.
- [11] Alsubait, T., & Alfageh, D. (2021). Comparison of Machine Learning Techniques for Cyberbullying Detection on YouTube Arabic Comments. *International Journal of Computer Science & Network Security*, 21(1), 1-5.
- [12] REZVANI, N., & BEHESHTI, A. (2021). TOWARDS ATTENTION-BASED CONTEXT-BOOSTED CYBERBULLYING DETECTION IN SOCIAL MEDIA. *Journal of Data Intelligence*, 2(4), 418-433.
- [13] Luo, Y., Zhang, X., Hua, J., & Shen, W. (2021, August). Multi-featured Cyberbullying Detection Based on Deep Learning. In *2021 16th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)* (pp. 746-751). IEEE.
- [14] Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. *arXiv preprint arXiv:1301.3781*.
- [15] Erdiñç, H. Y., & Güran, A. (2019, April). 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.
- [16] Alessa, A., Faezipour, M., & Alhassan, Z. (2018, June). Text classification of flu-related tweets using fasttext with sentiment and keyword features. In *2018 IEEE International Conference on Healthcare Informatics (ICHI)* (pp. 366-367). IEEE.
- [17] Çelik, Ö., & Koç, B. C. TF-IDF, Word2vec ve Fasttext Vektör Model Yöntemleri ile Türkçe Haber Metinlerinin Sınıflandırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(67), 121-127.
- [18] Le, Q., & Mikolov, T. (2014, June). Distributed representations of sentences and documents. In *International*

- conference on machine learning* (pp. 1188-1196). PMLR.
- [19] Arslan, M. (2020). *Bir İnsan Çiz Projektif Testi Yapay Zekâ tabanlı sistem tasarımı* (Master's thesis, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- [20] Olah, C. (2021, 27 Mayıs), Understanding LSTM Networks, Erişim Adresi: <http://colah.github.io/posts/2015-08-UnderstandingLSTMs/>
- [21] Karakoyun, E. Ş. (2018). *Derin öğrenme ile zaman serilerinin gerçek zamanlı tahmini* (Master's thesis, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [22] Zhang, Z., & Sabuncu, M. R. (2018, January). Generalized cross entropy loss for training deep neural networks with noisy labels. In *32nd Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*.



# S960QL Yapı Çeliğinin İşlenebilirliğinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi

Rüstem Binali<sup>1\*</sup>, Süleyman Yıldız<sup>2</sup>, Süleyman Neşeli<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0775-3817), [rustem.binali@selcuk.edu.tr](mailto:rustem.binali@selcuk.edu.tr)

<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0931-9643), [syaldiz@selcuk.edu.tr](mailto:syaldiz@selcuk.edu.tr)

<sup>3</sup> Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1553-581X), [sneseli@selcuk.edu.tr](mailto:sneseli@selcuk.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 16 Eylül 2021 ve Kabul Tarihi 21 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.996324)

**ATIF/REFERENCE:** Binali, R., Yıldız, S. & Neşeli, S. (2021). S960QL Yapı Çeliğinin İşlenebilirliğinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 85-91.

## Öz

Talaşlı üretim işlemlerinde frezeleme operasyonları yaygın olarak kullanılmaktadır. Frezeleme işlemi çok ağızlı kesici takımlarla yapılması nedeniyle farklı kesme mekaniğine sahiptir. Talaşlı imalatta kesme mekaniği işleme verimini belirleyen birçok işlem çıktılarına (kesme kuvveti, pürüzlülük, takım ömrü vb.) etki etmektedir. Bu nedenle işlem sırasında oluşan her bir çıktıya etki eden parametrelerin araştırılması gereklidir. Fakat bu işlemler oldukça maliyetli olup zaman almaktadır. Bu kapsamda sonlu elemanlar yönteminin kullanılmasıyla yapılan işleme simülasyonları vasıtasıyla elde edilen işlem çıktıları, fiziksel çalışmalarda elde edilen değerlerin tahminini yaparak pek çok avantaj sunmaktadır. Çalışmada S960QL yapı çeliği malzemesinin işlenebilirliği sonlu elemanlar yönteminde incelenmiştir. Frezeleme işlemleri üç farklı yanıl derinlik (0.8, 1.2, 1.6 mm), üç farklı aksenal derinlik (4, 6, 8 mm), üç farklı kesme hızı (180, 200, 220 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarında (0.08, 0.12, 0.16 mm/diş) yapılmıştır. Analiz neticesinde kesme kuvvetleri, moment ve sıcaklık değerleri incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda değerlendirilen işlem çıktılarına göre sonlu elemanlar yönteminin talaşlı imalatta işlenebilirlik deneyleri için kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Frezeleme, Sonlu elemanlar, İşlenebilirlik, Yapı çeliği.

## An Investigation of Machinability of S960QL Structural Steel by Finite Element Method

### Abstract

Milling operations are widely used in machining operations. The milling process is done with multi-edged cutting tools and so it has different cutting mechanics. In machining, cutting mechanics affects many process outputs (cutting force, roughness, tool life, etc.) that determine the machining efficiency. For this reason, it is necessary to investigate the parameters that affect each output that occurs during the process. However, these processes are very costly and the take time. In this context, the process outputs obtained through machining simulations using the finite element method offer many advantages by estimating the values obtained in physical studies. In this study, the machinability of S960QL structural steel material was investigated using the finite element method. Milling operations are performed at three different lateral depths (0.8, 1.2, 1.6 mm), three different axial depths (4, 6, 8 mm), three different cutting speeds (180, 200, 220 m/min) and three different feed rates (0.08, 0.12, 0.16 mm/tooth). As a result of the analysis, shear forces, moment and temperature values were examined. As a result of the study, it was determined that the finite element method can be used for machinability tests in machining according to the evaluated process outputs.

**Keywords:** Milling, Finite elements, Machinability, Structural steel.

\* Sorumlu Yazar: [rustem.binali@selcuk.edu.tr](mailto:rustem.binali@selcuk.edu.tr)

## 1. Giriş

İmalat sektöründe teknoloji ile birlikte artan rekabet günümüzde üretimin en iyi şekilde oluşturulmasını zorunlu kılmıştır. Üreticiler ve ürünlerinden istenilen yalnızca uygun maliyet değil aynı zamanda en yüksek kalite ve kısa sürede üretimdir. Günümüzde geliştirilmiş olan modern imalat yöntemleri ile üretilen ürünler beklentilerin bir kısmını karşılayabilmektedir. Ancak müşteriler tarafından istenilen kriterler tam anlamıyla karşılanamamaktadır. Bu nedenle modern imalat yöntemlerine ek olarak müşterilerin beklentilerinin karşılanabilmesi için geleneksel imalat yöntemlerinin optimizasyonunu yapmak ve teknoloji tabanlı işlemler yapılmasını gerektirmektedir. Geleneksel imalat yöntemlerinden talaşlı imalat yöntemleri ise ürün işlenmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Talaşlı imalat yöntemleri, frezeleme, tormalama, delme ve diş açma gibi işlemleri kapsamaktadır (Binali, 2017; Korkmaz vd., 2018).

Talaşlı imalat yöntemlerinin arasında ise frezeleme yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemde kesme mekaniği diğer talaşlı imalat yöntemlerine göre farklıdır. Kesme mekaniğinin farklı olması, frezeleme yönteminde kesme işleminin hem aynı anda birden fazla yönde gerçekleşmesinden hem de çok ağızlı kesici takım kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle kesme işlemi sırasında meydana gelebilecek hataların en aza indirilebilmesi için kesme parametrelerinin iyileştirilmesi oldukça önemlidir. Frezeleme işlemini oluşturan esas parametreler ise kesme hızı, diş başına ilerleme miktarı ve kesme derinliğidir. Son yıllarda kesme parametrelerinin iyileştirilebilmesinin sağlanabilmesi için fiziksel deneyler yerine sonlu elemanlar yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem ile yapılan iyileştirme işlemlerinde işlem sırasında meydana gelen kesme kuvveti, moment ve sıcaklık gibi neticeler elde edilebilmektedir. Bu kapsamda frezeleme işlemiyle alakalı yapılan çalışmalarda, istenilen yüzey kalitesine ulaşmak amacıyla iş parçası malzemesi ve kesici takım malzemesi için gerekli olan işleme parametreleri ve seviyeleri belirlenerek işleme maliyetlerinin minimum seviyede olması hedeflenmektedir.

Araştırmalar neticesinde literatürde sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilen pek çok çalışmanın olduğu görülmektedir. Bu çalışmaların bazıları şu şekilde özetlenmiştir; Ceretti ve arkadaşları, ISO 2017 AlCuMgPb alüminyum alaşımına gerçekleştirdikleri tormalama deneyleri ve sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçları kıyaslamışlardır. Çalışmaları sonucunda malzemenin seçimi, kesici takımların tasarlanması ve işleme parametrelerin optimizasyonu için sonlu elemanlar yönteminin kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir (Ceretti vd., 2000). Gao ve arkadaşları, SUS 321 paslanmaz çeliğinin delinmesinde kesme parametrelerinin etkilerini sonlu elemanlar yöntemine bağlı olarak araştırmışlardır. Delme simülasyonunun neticelerine bağlı olarak matkap çapı ve ilerleme miktarının kesme hızına göre moment ve ilerleme kuvvetinin üzerinde daha etkin parametreler olduğunu belirlemişlerdir. Bunun yanı sıra, en yüksek sıcaklık değerinin takım-talaş arayüzünde meydana geldiğini ve kesici takım aşınmasının tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir (Gao vd., 2011). Özel, AISI 4340 malzemesinde değişken geometrilere sahip PCBN kesici takımlar ile fiziksel deneyler ve tormalama simülasyonu işlemlerinde talaş geometrisi, kesme kuvveti ve takım aşınmalarını incelemiştir. Çalışması sonucunda kesme

kuvveti bakımından fiziksel deneyler ve SEY simülasyonu sonuçlarının birbirlerine benzediğini belirtmiştir (Özel, 2009). Yang ve Sun, delik delme işlemi için bir SEY geliştirmiştir. Çalışmalarında iş parçası malzemesi olarak titanyum alaşımı olan Ti6Al4V malzemesini ve kesici takım malzemesi olarak da kaplanmamış karbür kullandıklarını belirtmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre kesme kuvvetinin deneysel değerlerle, sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda sonlu elemanlar yönteminin bu işlem için uygun olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca sonlu eleman modelinin, optimum delme parametrelerini seçmek ve kesici takım tasarımının geliştirilmesi için kullanılabilirliğini, uzun ve pahalı fiziksel deney sürecinden kaçınılabileceğini belirtmişlerdir (Yang ve Sun, 2009). Kurt ve arkadaşları, AISI H13 malzemesinin seramik kesici takımlar ile sert tormalanması sırasında kesici takım gerilmelerini belirlemek için sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda SEY'deki gerilim konsantrasyonu alanlarının takım aşınması tipi hakkında bilgi verdiğini vurgulamışlardır (Kurt vd., 2015). Bir diğer çalışmada, Gök ve arkadaşları, AISI 4140 malzemesinin fiziksel ve sonlu elemanlar yönteminde delme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Farklı helis açılara sahip kesici takımlar kullanarak ilerleme ve kesme hızlarının işlem sırasında oluşan kesme kuvvetlerini ve momentleri değerlendirmişlerdir (Gök vd., 2013). Özçelik ve Bağcı, Al7075-T651 ve AISI 1040 malzemelerine TiAlN kaplamaya sahip helisel matkap kesici takımlarıyla delme işlemleri uygulayarak, malzemelerin üzerinde işlem sırasında meydana gelen sıcaklıkları deneysel ve sonlu elemanlar yöntemini kullanarak incelemişlerdir. İlerleme miktarındaki artış ile sıcaklık değerinin önemli düzeyde arttığını ve Lagrange koduna dayalı SEY'e göre yapılan analizlerle kuru şartlar altında yapılan fiziksel deney sonuçları arasında iyi bir benzerlik olduğunu vurgulamışlardır (Özçelik ve Bağcı, 2006). Yan ve arkadaşları, AISI H13 takım çeliğinin sert tormalanması sırasında gerinim, gerinim oranı ve sıcaklığın akış gerilimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sert tormalamada akış gerilmelerinin mekanik davranışlarının belirlenmesinin çok zor olduğu ve bu problemin sonlu elemanlar yöntemi ile çözülmesi gerektiğini iddia etmektedirler. Sonuç olarak fiziksel deney verileri ile sonlu elemanlar verileri kıyaslandığında SEY modelinin kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir (Yan vd., 2007). Kormaz ve arkadaşları, AISI 420 Martenzitik paslanmaz çeliğinin delinebilirliğini SEY ile analiz etmişlerdir. Çalışmaları sonucunda delme işlemi için gerekli parametrelerin optimizasyonu için SEY'in kullanılabilir bir araç olduğunu vurgulamışlardır (Korkmaz vd., 2018).

Literatür çalışmasının değerlendirilmesi sonucunda, S960QL yapı çeliğinin frezelenebilirliği üzerine kapsamlı bir çalışmanın olmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada S960QL yapı çeliğinin sonlu elemanlar yöntemi ile frezeleme simülasyonlarında, yanal derinliğin, eksenel derinliğin, diş başına ilerleme miktarının ve kesme hızı parametrelerinin kesme kuvveti, moment ve sıcaklık üzerindeki etkileri analiz edilerek frezelenebilirliği incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Yapılan sonlu elemanlar çalışması için iş parçası malzemesi olarak endüstride kullanılan S960QL yapı çeliği malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin frezelenebilirliği sonlu elemanlar yöntemine bağlı olarak frezeleme simülasyonları değerlendirilmiştir. S960QL yapı çeliği malzemesinin kimyasal



bileşimi ve mekaniksel özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. S960QL malzemesinin kimyasal bileşimi (SSAB, 2021).

C	Si	Mn	P	S
0,20	0,50	1,60	0,020	0,010
Cr	Cu	Ni	Mo	B
0,80	0,3	2,0	0,70	0,005

Tablo 2. S960QL malzemesinin mekaniksel özellikleri (SSAB, 2021).

Minimum Akma dayanımı $R_{p0.2}$ (MPa)	960
Minimum Çekme dayanımı $R_m$ (MPa)	980-1150
Germe $A_5$ (min %)	12

S960QL malzemesinin sonlu elemanlar yöntemi için gerekli olan Johnson-Cook (JC) model parametreleri, Cadoni ve Forni tarafından tanımlandığı göz önüne alınmıştır (Tablo 3). Johnson-Cook malzeme modeli eşitliği aşağıda verilmiştir (Korkmaz vd., 2018).

$$\sigma^0 = (A + B(\epsilon^p))^n (1 + C \ln(\frac{\dot{\epsilon}^p}{\dot{\epsilon}_0})) (1 - (\frac{T}{T_m})^m) \quad (1)$$

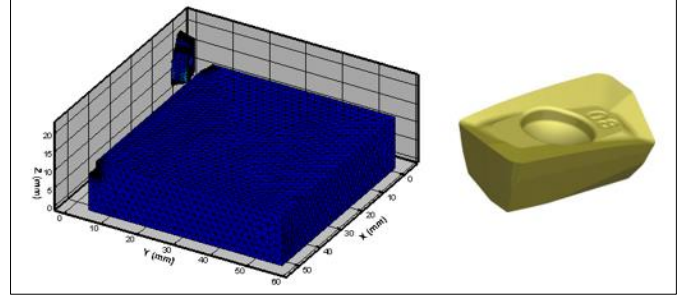
Denklem 1’deki A, B, C, n ve m olan mekanik testlerin kullanılmasıyla bulunan malzemenin parametreleri sırası ile oda sıcaklığındaki akma gerilmesini, gerinim sertleşmesini, gerinim hızının sabitini, deformasyon sertleşmesinin üssü ve deformasyon hızının duyarlılığının üssüdür. Denklemdeki diğer parametreler ise  $\epsilon_p$ ,  $\epsilon_p$ ,  $\epsilon_0$ ,  $T_r$ ,  $T_m$  ve  $T$ , sırası ile eşdeğer plastik gerinim, plastik gerinimin oranı, referans gerinimin oranı, oda sıcaklığı, malzemenin erime sıcaklığı ve referans sıcaklığıdır. Belirtilen  $\epsilon_0$  ve  $C$  genelde referans sıcaklığında ve/veya altında ölçümü yapılan değerlerdir.

Tablo 3. S960QL malzemesinin JC model parametreleri (Cadoni ve Forni, 2019).

A (MPa)	1034
B (MPa)	828
n	0,6539
c	0,015045
m (400 °C)	1,028
m (550 °C)	1,277
m (ortalama)	1,154

Frezeleme işlemleri sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılmıştır. Bu kapsamda frezeleme işleminde kullanılan S960QL malzemesinin uzunluğu 50 mm, genişliği 50 mm ve kalınlığı 10 mm olarak programa tanımlanması yapılmıştır. Kesici takım malzemesi olarak P kalitesinde TiAlN kaplamalı iki ağızlı karbür freze takımı tanımlanmıştır. S960QL malzemesi için KENNAMETAL firması tarafından tavsiye edilen EDCT 10T308PDERLD KC725M kalitesinde kesici takım

kullanılmıştır. Kesici takımın sonlu elemanlar programında kullanılabilmesi için üç boyutlu taraması yapılarak CATIA programında modellemesi yapılmıştır. Kesici takım 0,8 köşe radiusuna, 3,75 mm kalınlığa, 12,05 mm kesme kenarı uzunluğuna ve 150 yaklaşma açısına sahiptir. Kesici takım ve iş parçası malzemeleri arasında yüzey ilişki Coulomb modeli kullanılarak yapılmış olup sürtünme katsayısı 0,5 olarak seçilmiştir. Simülasyon işlemlerinde köşe frezeleme (cutting edge) ve aynı yönlü frezeleme seçilmiştir. Frezeleme simülasyonlarına tanımlanan sonlu elemanların model görünümü ve kesici takımın geometrik şekli Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Kesici takım geometrisi ve sonlu elemanlar modeli.

Kesme parametreleri olarak, yanal derinlik, aksenal derinlik, kesme hızı ve diş başına ilerleme miktarı seçilmiştir. Bu parametreler literatürde yer alan yapı çelikleri için seçilen parametreler ve KENNAMETAL firması tarafından önerilen parametrelerin değerlendirilmesi ile belirlenmiştir. Kullanılan parametreler ve değerleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Çalışmada kullanılan kesme parametreleri.

Deney No	Yanal derinlik (mm)	Eksenel Derinlik (mm)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme miktarı (mm/diş)
1	0,8	4	180	0,08
2	0,8	6	200	0,12
3	0,8	8	220	0,16
4	1,2	4	200	0,16
5	1,2	6	220	0,08
6	1,2	8	180	0,12
7	1,6	4	220	0,12
8	1,6	6	180	0,16
9	1,6	8	200	0,08

Tablo 4’te yer alan kesme parametrelerinin kullanılması ile sonlu elemanlar yöntemindeki simülasyonlar sonucunda işlem sırasında meydana gelen kesme kuvveti, moment ve sıcaklık değerlerine göre S960QL yapı çeliğinin frezelenabilirliği incelenmiştir.

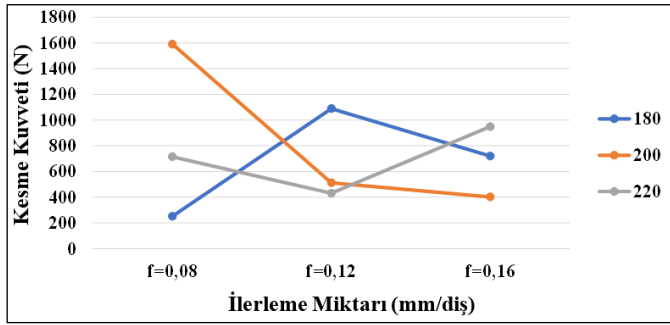
### 3. Sonuçların Değerlendirilmesi

Çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi ile frezeleme işlemini etkileyen esas kesme parametrelerinin (diş başına ilerleme miktarı, kesme derinlikleri ve kesme hızı) işlem esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri ( $F_x$ ,  $F_y$  ve  $F_z$ ), moment ( $M_z$ ) ve kesici takım üzerindeki sıcaklık ( $T$ ) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonlu elemanlar yönteminin analizi sonuçlarına göre değerlendirmeler detaylı olarak alt başlıklarda verilmiştir.

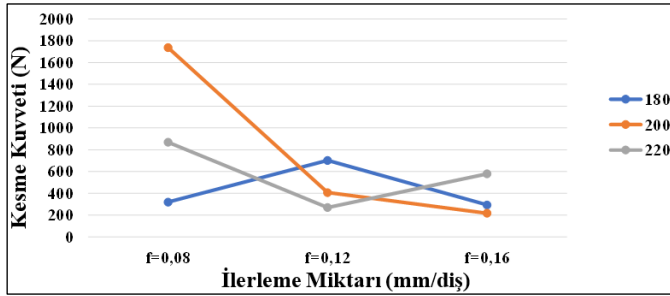
### 3.1. Kesme Kuvveti Değerlendirilmesi

Frezeleme simülasyonları sonucunda meydana gelen kesme kuvvetleri ( $F_x$ ,  $F_y$  ve  $F_z$ ) değerleri ilerleme miktarı-kesme hızına, aksel derinlik-kesme hızına ve yanal derinlik-kesme hızına bağlı olarak değişimleri Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.

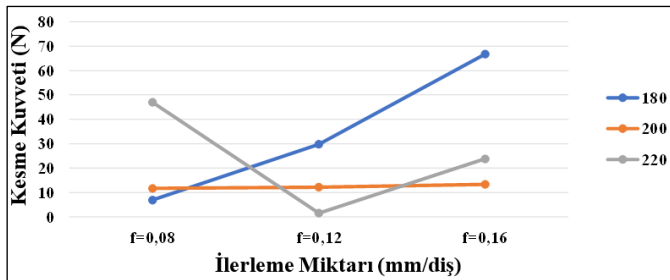
Genel anlamda aksel derinlik miktarı ve kesme hızlarına göre kesme kuvvetlerinde artış meydana gelmektedir. Ayrıca sabit kesme hızında aksel derinliğin artması ile ilerleme yönündeki ( $F_x$ ) kesme kuvvetinde de artış gözlenmiştir. Aynı şekilde yanal derinliğe ve ilerleme miktarına göre inceleme yapıldığında, artış ile beraber kesme kuvvetlerinde de artış olduğu gözlenmiştir. Ancak bazı değerlerde sabit kesme hızında artan ilerleme miktarı, yanal derinlik ya da aksel derinlikte kesme kuvvetinde azalış meydana geldiği gözlenmektedir. Bu durumun kesici takım ile belirlenen iş parçası malzemesinin kesilmesinde gerekli olan optimum parametreden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca meydana gelen artışların nedeni artan talaş kesit alanının ve bu nedenle birim zamanda malzemedan kaldırılan talaşın miktarı için gerekli olan gücün artmasına atfedilebilir (Korkmaz vd., 2018; Küçük Türk, 2013). Bu durum ayrıca işlem sırasında artan sıcaklık ile iş parçası malzemesinin dayanımında azalma olduğu göz önüne alınarak açıklanabilir.



(a)



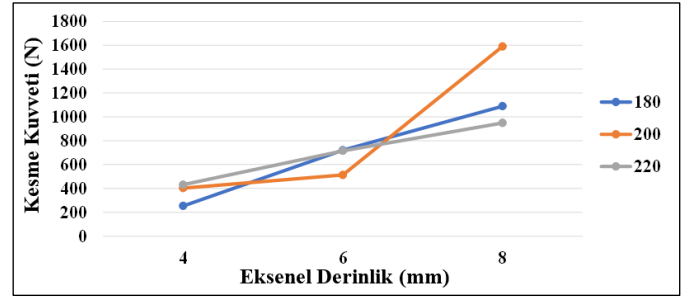
(b)



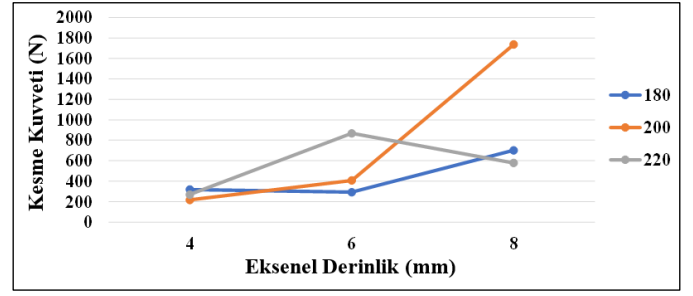
(c)

Şekil 2. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı kesme kuvveti değişimleri a)  $F_x$  b)  $F_y$  c)  $F_z$

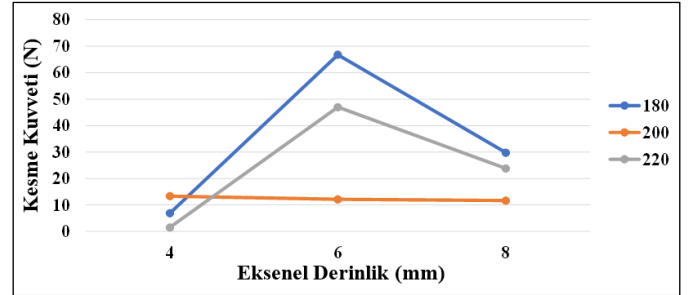
İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı grafiklerin incelenmesi sonucunda genel anlamda ilerleme miktarının artması ile kesme kuvvetlerinde düşüş meydana gelmektedir. Ancak kesme hızlarına göre değerlendirildiğinde kesme hızlarının artışıyla ilerleme ve yanal kuvvet değerlerinde kesme kuvvetinin arttığı ve bir süre sonra düştüğü görülmektedir. Literatür incelendiğinde ilerleme kuvvetinin artması kesme kuvvetini arttırmakta ve kesme hızının artması kesme kuvvetini azaltmaktadır (Yardımeden ve Turan, 2015; Tekait, 2008; Chinchanikar ve Choudhury, 2013). Ancak genel anlamda bu ifadeler literatürde tornalama ve delme için kullanılmaktadır. Frezeleme kesme mekanizması işleminin farklı olması nedeniyle dalgalanmalı sonuçlar meydana gelebilmektedir (Binali, 2017). Şekil 2'ye göre ilerleme yönünde meydana gelen en yüksek kesme kuvveti (1589,93 N) 0,08 mm/diş ilerleme miktarı ve 200 m/dak kesme hızında oluşmuştur. İlerleme yönündeki en düşük kuvvet (252,57 N) değeri ise 0,08 mm/diş ilerleme miktarında ve 180 m/dak kesme hızında oluşmuştur. İlerleme yönündeki en düşük ve en yüksek kuvvetler arasında %530'luk bir değişim oluşmuştur. Yanal kuvvet değerlerinde ise en yüksek kuvvet (1736,83 N) değeri 0,08 mm/diş ilerleme miktarı ve 200 m/dak kesme hızında oluşmuştur. En düşük kuvvet (216,895 N) değeri ise 0,16 mm/diş ilerleme miktarı ve 200 m/dak kesme hızında meydana gelmiştir. Yanal kesme kuvvetlerinin en düşük ve en yüksek değerleri arasında %701'lik bir değişim meydana gelmiştir.



(a)



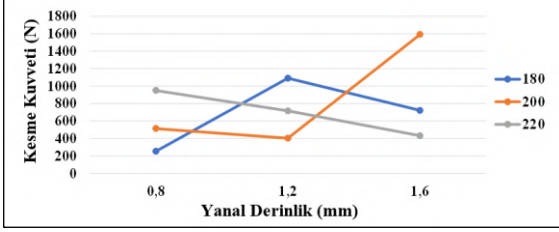
(b)



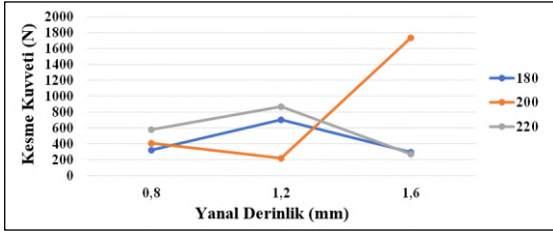
(c)

Şekil 3. Eksenel derinlik ve kesme hızına bağlı kesme kuvveti değişimleri a)  $F_x$  b)  $F_y$  c)  $F_z$

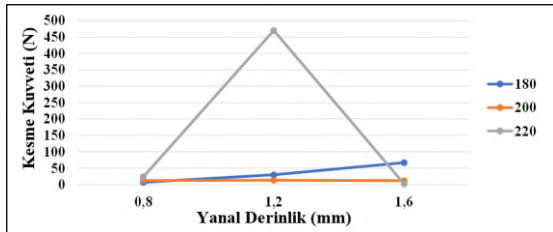
Şekil 3'te yer alan aksel derinlik ve kesme hızına bağlı kesme kuvvetleri grafiğinin incelenmesi ile aksel derinliğin artması ile kesme kuvveti artmaktadır. Bu durum derinliğin ve meydana gelen titreşimin artmasıyla kesme kuvvetinin artmasına atfedilebilir. Aksel derinliğin yani kesme derinliğinin artması ile kesme kuvvetinde meydana gelen artış literatür ile uyum içerisinde (Günay vd., 2017). Aksel derinliğe ve kesme hızına bağlı olarak hem ilerleme yönünde hem de yanal kuvvet olarak meydana gelen en yüksek kesme kuvveti değeri 8 mm derinlikte ve en düşük kesme kuvveti değeri ise 4 mm derinlikte meydana gelmiştir. Bu beklenen bir durum olup sonlu elemanlar yönteminin doğru bir simülasyon gerçekleştirdiğini göstermektedir.



(a)



(b)



(c)

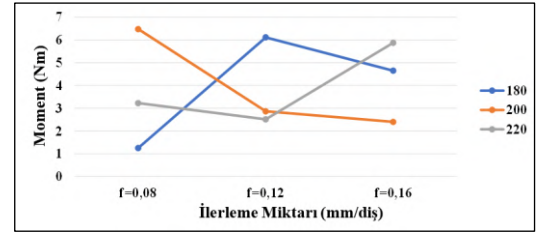
Şekil 4. Yanal derinlik ve kesme hızına bağlı kesme kuvveti değişimleri a)  $F_x$  b)  $F_y$  c)  $F_z$

Yanal derinlik ve kesme hızına bağlı kesme kuvveti değişimlerinin grafiklerinin incelenmesi sonucunda yanal derinliğin artması ile kesme kuvvetlerinde artış meydana gelmiştir. Bu durum aynı aksel durumda olduğu gibi titreşime bağlı olarak kesme kuvvetinde artış meydana gelmesi ile açıklanabilir. Hem kesme hızının artırılması hem de yanal derinliğin artırılmasıyla kesme kuvvetlerinde artış meydana gelmektedir. Ancak yanal derinliğin sabit kesme hızının artırılması sonucunda bir süre artış sonrasında kesme kuvvetlerinde düşüş meydana gelmektedir. Yanal derinlik ve kesme hızına bağlı olarak oluşan en yüksek kesme kuvveti değişimi %493 ile 1,6 mm yanal kesme derinliğinde kesme hızının 180 m/dak'dan 200 m/dak'ya artırıldığında yanal kuvvette ( $F_y$ ) meydana gelmiştir. En düşük değişim ise %9 olarak yine 1,6 mm yanal derinlikte ve kesme hızının 180 m/dak'dan 220 m/dak'ya artması sonucunda yanal kuvvette ( $F_y$ ) meydana gelmiştir.

Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'teki grafiklerin genel olarak değerlendirilmesi sonucunda meydana gelen  $F_x$  kuvvetleri 252,57-1589,93 N arasında değişmektedir. En düşük ve en yüksek kuvvet arasında %530'luk bir değişim söz konusudur.  $F_y$  kuvvetlerinde ise 216,895-1736,83 N arasında ve %701'lik değişim meydana gelmiştir.  $F_z$  kuvvetlerinde ise 1,53155-66,7766 N ve %4260'lık bir değişim meydana gelmiştir. İlerleme yönündeki en düşük kuvvet (252,57 N) 0,8 mm yanal derinlik, 4 mm aksel derinlik 180 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme miktarında meydana gelmiştir. En yüksek kuvvet (1589,93 N) ise 1,6 mm yanal derinlik, 8 mm aksel derinlik 200 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme miktarında meydana gelmiştir. Elde edilen sayısal verilere göre kesme kuvvetine etki eden en önemli parametrelerin ilerleme miktarı ve yanal derinliğin olduğu sonucuna varılmıştır.

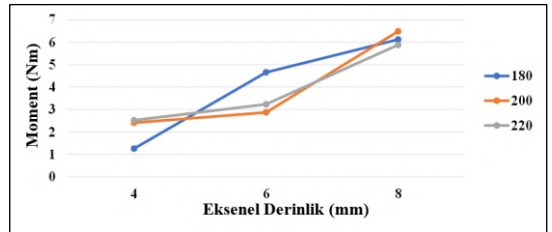
### 3.2. Moment Değerlendirilmesi

Yapı çeliğinin frezelenmesi esnasında meydana gelen moment değerlerinin ( $M_z$ ) işleme parametrelerine göre değişim grafikleri Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Moment değerleri incelendiğinde genel olarak kesme kuvvetlerinin artması ile moment değerlerinde de artış meydana gelmiştir. Ayrıca en çok etki eden parametrenin aksel derinlik olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. İlerleme miktarına ve kesme hızına bağlı olarak moment grafiği.

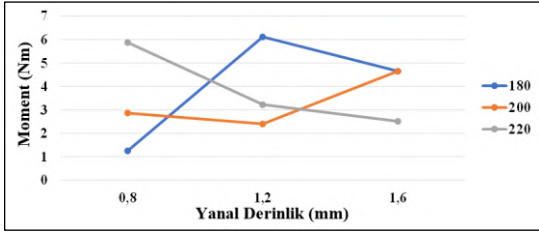
Şekil 5'e göre değerlendirilme yapıldığında, genel anlamda ilerleme miktarına bağlı olarak moment değerlerinde düşüş meydana gelmektedir. Literatürde bulunan sonlu elemanlar çalışmalarına göre ilerleme miktarına bağlı olarak talaş kesit alanındaki artış ve bu nedenle talaş kaldırmak için gerekli kuvvetin artması sonucunda moment miktarında da artış olması beklenmektedir (Korkmaz vd., 2018; Gökçe vd., 2017). Frezeleme simülasyonları sonucunda en yüksek ve en düşük  $M_z$  değerleri arasında %418'lik bir değişim olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6. Aksel derinlik ve kesme hızına bağlı olarak moment grafiği.

Moment değişimleri aksel derinliklere göre değerlendirildiğinde artan derinlik ile birlikte momentin arttığı gözlenmektedir. Bu beklenen bir durum olup çalışmanın olumlu olduğunu göstermektedir. Meydana gelen en düşük moment değeri 180 m/dak kesme hızında 4 mm aksel derinlikte 1,25036 Nm, en yüksek moment değeri ise 200 m/dak kesme hızında 8 mm derinlikte 6,48052 Nm olarak tespit edilmiştir. Parametreler arasında en yüksek değişim %126 ile

200 m/dakk kesme hızında 6 mm derinlikten 8 mm derinliğe artışta oluşmuştur. En düşük değişim ise %19 ile yine 200 m/dak kesme hızında 4 mm derinlikten 8 mm derinliğe artışta oluşmuştur.

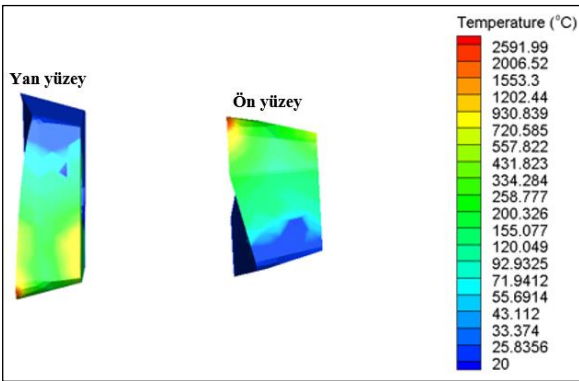


Şekil 7. Yanal derinlik ve kesme hızına bağlı olarak moment grafiği.

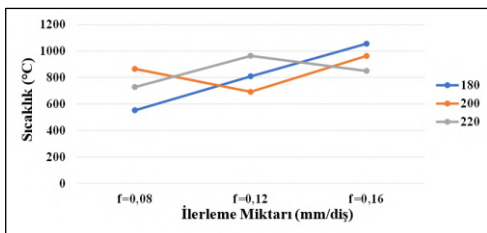
Yanal derinliğin kesme hızı ile birlikte momente etkisinde en düşük moment değeri 0,8 mm yanal derinlik ve 180 m/dak kesme hızında, en yüksek değer ise yine 180 m/dak kesme hızında ve 1,2 mm yanal derinlikte meydana gelmiştir. Aralarında %389'luk bir değişim meydana gelmiş olup en yüksek değişim de bu parametrelerde olmuştur. En düşük değişim ise %19 olarak 200 m/dak kesme hızında 0,8 mm'den 1,2 mm yanal derinliğe artışta meydana gelmiştir.

### 3.3. Sıcaklık Değerlendirmesi

Talaşlı imalat işlemlerinde kesici takımın iş parçası malzemesini kestiği bölgede meydana gelen sıcaklık, kesici takımın geometrisine, malzemenin özellikleri, kesme parametrelerine ve işleme koşullarına (soğurtmalı ve kuru işleme) göre değişim göstererek dağılım sergilemektedir. Kesme sırasında oluşan aşırı sıcaklık kesici takımda aşınmaya ve akabinde malzemenin istenilen verimlilikte işlenmesine engel olmaktadır. Bu nedenle kesme parametrelerinin sıcaklığa olan etkisi değerlendirilmiştir. Şekil 8'de kesici takım üzerinde meydana gelen sıcaklık dağılımları (maksimum ve minimum sıcaklık değerlerine göre yapılmıştır), Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de ise kesme parametrelerinin sıcaklık oluşumu üzerine etkileri grafiksel olarak verilmiştir.

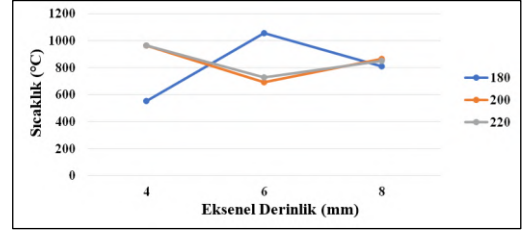


Şekil 8. Kesici takımda meydana gelen sıcaklık dağılımı.



Şekil 11. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak sıcaklık değişim grafiği.

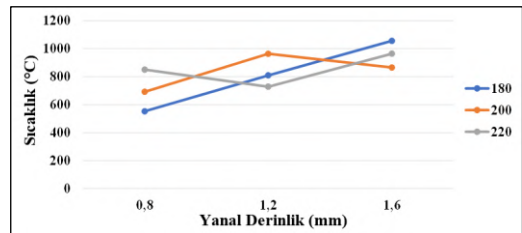
İlerleme miktarının artmasıyla genel anlamda sıcaklık miktarlarında artış gözlenmektedir. En düşük sıcaklık değeri 0,05 mm/diş ilerleme miktarı ve 180 m/dak kesme hızında oluşmuştur. En yüksek sıcaklık ise yine 180 m/dak kesme hızında ve 0,16 mm/diş ilerleme miktarında oluşmuştur. En yüksek ve düşük sıcaklık değerleri arasında %91'lik değişim tespit edilmiştir. Birbirlerini takip eden kesme parametreleri arasında en yüksek ve en düşük sıcaklık değişim oranları sırasıyla %47 (180 m/dak kesme hızında 0,08 mm'den 0,12 mm ilerleme miktarına artışta) ve %13 (220 m/dak kesme hızında 0,12 mm'den 0,16 mm ilerleme miktarına artışta) olarak belirlenmiştir.



Şekil 12. Eksenel derinlik ve kesme hızına bağlı olarak sıcaklık değişim grafiği.

En yüksek sıcaklık 180 m/dak kesme hızı ve 6 mm eksenel derinlikte, en düşük sıcaklık ise 180 m/dak kesme hızı ve 4 mm eksenel derinlikte meydana gelmiştir. Parametreler arasındaki en yüksek değişim yine 180 m/dak kesme hızında 4 mm'den 6 mm eksenel derinliğe artışta oluşmuştur. En düşük değişim ise 220 m/dak kesme hızında 6 mm derinlikten 8 mm derinliğe artışta meydana gelmiştir.

Şekil 13'te yer alan yanal derinlik etkisinin incelenmesi sonucunda meydana gelen sıcaklık en yüksek 180 m/dak kesme hızı 1,6 mm yanal derinlikte ve en düşük sıcaklık ise yine 180 m/dak kesme hızında 0,8 mm yanal derinlikte oluşmuştur. Yanal derinliğe göre en yüksek ve düşük değişim oranları ise sırasıyla %39 (200 m/dakk kesme hızında 0,8 mm yanal derinlikten 1,2 mm yanal derinliğe artışta) ve %11 (200 m/dak kesme hızında 1,2 mm yanal derinlikte 1,6 mm yanal derinliğe artışta) olarak belirlenmiştir.



Şekil 13. Yanal derinlik ve kesme hızına bağlı sıcaklık değişim grafiği.

Grafiklerden de anlaşılacağı üzere sıcaklık üzerinde ilerleme miktarının ve yanal derinliğin etkisinin en fazla olduğu gözlenmektedir. Elde edilen sonuçlara göre derinlik ve ilerleme miktarına bağlı olarak sıcaklığın artması talaş kaldırma sırasında birim zamanda artan talaş hacmine atfedilebilir. Bunun nedeni artan talaş hacmi ile plastik deformasyon miktarında ve kesici takım-ış parçası malzemesi arasındaki sürtünmenin artması olarak düşünülmektedir. Ayrıca elde edilen sonuçlar doğrultusunda frezeleme işlemi için sıcaklık dağılımlarının sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenebileceği söylenebilir.



## 4. Sonuç

Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile yapı çeliğinin frezelenabilirliği kesme kuvvetleri, moment ve sıcaklıklar bakımından incelenmiştir. Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenerek verilmiştir.

Genel anlamda ilerleme miktarının ve kesme derinliklerinin artmasıyla kesme kuvvetlerinde, momentlerde ve sıcaklıklarda artışın meydana geldiği belirlenmiştir.

Kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinde bir süre artış daha sonra azalış, yani dalgalanmalar meydana gelmiştir. Aynı şekilde oluşan sıcaklıklarda da dalgalanmalar oluşmuştur.

Simülasyon sonuçlarında ilerleme yönüne göre oluşan en düşük kesme kuvveti 252,57 N olarak 180 m/dak kesme hızında, 0,8 mm yanıl derinlikte, 4 mm aksel derinlikte ve 0,08 mm/dış ilerleme miktarında oluşmuştur. En düşük moment değeri (1,25036 Nm) ve sıcaklık değeri (552,193) de kesme kuvvetinin en düşük parametrelerinde meydana gelmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile frezeleme işleminde işleme parametrelerinin işlenebilirlik çıktılarının tahmini için kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sonlu elemanlar yönteminde farklı kesici takımlarla bu parametrelere göre talaş oluşumu gibi işlem çıktısının analizi yapılabilir.

Farklı sonlu elemanlar programları kullanılarak meydana gelen işlem çıktıları karşılaştırılabilir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından Doktora Tez projesi olarak desteklenmiştir. Proje Numarası: 20111014. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Binali, R. (2017). Sıcak iş takım çeliğinin (TOOLOX 44) işlenebilirliğinin incelenmesi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Cadoni, E., & Forni, D. (2019). Mechanical behaviour of a very-high strength steel (S960QL) under extreme conditions of high strain rates and elevated temperatures. *Fire Safety Journal*, 1-14.
- Ceretti, E., Lazzaroni, C., Menegardo, L., & Altan, T. (2000). Turning simulations using a three-dimensional FEM code. *Journal of Materials Processing Technology*, 98(1), 99-103.
- Chinchanikar, S., & Choudhury, S. K. (2013). Effect of work material hardness and cutting parameters on performance of coated carbide tool when turning hardened steel An optimization approach Measurement. *Measurement*, 46(4), 1572-1584.
- Gao, X., Li, H., Liu, Q., Zou, P., & Liu, F. (2011). Simulation of stainless steel drilling mechanism based on Deform-3D. *Advanced Materials Research*, 160-162, 1685-1690.
- Gök, K., Türkes, E., Neseli, S., Sağlam, H., & Gök, A. (2013). The validation as experimental and numerical of the values of thrust force and torque in drilling process. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 6(3), 93-99.

- Gökçe, H., Yavuz, M., Gökçe, H., & Şeker, U. (2017). Orjinal matkap geometrisinde delme performansının sonlu elemanlar yöntemi ile doğrulanması. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(1), 27-34.
- Günay, M., Korkmaz, M. E., & Yaşar, N. (2017). Finite element modeling of tool stresses on ceramic tools in hard turning. *MECHANIKA*, 23(3), 432-440.
- Korkmaz, M. E., Meral, T., & Günay, M. (2018). AISI 420 Martenzitik Paslanmaz Çeliğin Delinebilirliğinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(3), 223-229.
- Kurt, A., Yalçın, B., & Yılmaz, N. (2015). The cutting tool stresses in finish turning of hardened steel with mixed ceramic tool. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 80, 315-325.
- Küçük Türk, G. (2013). Modeling and analyzing the effects of experimentally determined torque and thrust force on cutting tool according to drilling parameters. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 227(1), 84-95.
- Özçelik, B., & Bağcı, E. (2006). Experimental and numerical studies on the determination of twist drill temperature in dry drilling: A new approach. *Materials and Design*, 27, 920-927.
- Özel, T. (2009). Computational modelling of 3D turning: Influence of edge micro-geometry on forces, stresses, friction and tool wear in PCBN tooling. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(11), 5167-5177.
- SSAB. (2021, 08 25). [www.ssab.com.tr. https://www.ssab.com.tr/products/brands/strenx/products/strenx-960-e-f](https://www.ssab.com.tr/products/brands/strenx/products/strenx-960-e-f) adresinden alındı
- Tekaut, İ. (2008). Takım Tezgâhlarındaki Kesici Takım Titreşiminin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi, Yüksek Lisans Tezi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Yan, H., Hua, J., & Shivpuri, R. (2007). Flow stress of AISI H13 die steel in hard machining. *Materials and Design*, 28(1), 272-277.
- Yang, Y., & Sun, J. (2009). Finite element modelling and simulating of drilling of titanium alloy. *nf. and Comp. Sci, ICIC '09. Second Int Conf. 4., 178.*
- Yardımeden, A., & Turan, A. (2015). AISI 1040 çeliğinin tormalamasında kesme parametrelerinin kesme kuvvetine etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 6(1), 51-59.



# Random Vibration Fatigue Analysis of Car Roof Luggage Carrier

Ekrem Gulsevinler<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Kastamonu University, Abana Sabahat Mesut Yılmaz Vocational School, Department of Electric and Energy, Kastamonu, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4787-6275),  
[egulsevinler@kastamonu.edu.tr](mailto:egulsevinler@kastamonu.edu.tr)

(First received 7 April 2021 and in final form 6 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.911120)

**ATIF/REFERENCE:** Gulsevinler, E. (2021). Random Vibration Fatigue Analysis of Car Roof Luggage Carrier. *European Journal of Science and Technology*, (31), 92-103.

## Abstract

In this paper, random vibration analysis was applied to predict the car roof luggage carrier's fatigue life. Ansys Workbench 19.2 program was used in this study for finite element analysis. The car roof luggage carrier geometry has meshed with 325,536 nodes and 105,682 elements. Random vibration measurements were handled under two different scenarios (vehicle type and road type) and a total of four different driving speeds from previous studies. Random vibration analysis was applied by defining a 75kg load on the car roof luggage carrier applied according to the vibration and PSD data obtained according to the engine, wind, and road conditions of the vehicle, and it was estimated that no fatigue damage would occur for a minimum of 103653 hours using the Steinberg method.

**Keywords:** Random vibration, Fatigue life, Steinberg method, PSD.

# Araç Tavan Bagaj Taşıyıcısının Rastgele Titreşim Yorulma Analizi

## Öz

Bu çalışmada, arabanın tavan bagaj taşıyıcısının yorulma ömrünü tahmin etmek için rastgele titreşim analizi uygulanmıştır. Bu çalışmada sonlu eleman analizi için Ansys Workbench 19.2 programı kullanılmıştır. Araba tavan bagaj taşıyıcı geometrisi, 325,536 düğüm ve 105,682 eleman ile çözüm ağı ördürülmüştür. Rastgele titreşim ölçümleri, önceki çalışmalardan iki farklı senaryo (araç tipi ve yol tipi) ve toplam dört farklı sürüş hızı altında ele alınmıştır. Aracın motor, rüzgar ve yol koşullarına göre elde edilen titreşim ve PSD verilerine göre uygulanan araç tavan bagaj taşıyıcısına 75kg yük tanımlanarak rastgele titreşim analizi uygulanmış ve Steinberg yöntemini kullanarak minimum 103653 saat süresince herhangi bir yorulma hasarı oluşmayacağı tahmin edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Rastgele titreşim, Yorulma ömrü, Steinberg yöntemi, PSD

\* Corresponding Author: [egulsevinler@kastamonu.edu.tr](mailto:egulsevinler@kastamonu.edu.tr)

## 1. Introduction

Under the scope of structural design, mechanical parts frequently attend in vibration situations while working (Y. Li et al., 2017; Z. Luo et al., 2020). A random vibration study aims to estimate the response of the models to unexpected vibration loads. Randomness is characteristic of excitation or input. Typical applications include loads experienced by an aircraft in flight or delivery trucks running on a rough road and wave loads on an offshore structure. The vibration generated in vehicles due to motor vibration and harsh road conditions randomly occurs of many different frequencies in nature. In random vibration analysis, excitations such as displacement velocity or acceleration are not deterministic such input excitations are statistical. A statistical or probabilistic approach to determining the system's response gives us a better method for evaluating our engineering parts under random excitations.

Random vibration analysis uses a mode superposition method that requires modal analysis and PSD (power spectral density) curves. The PSD attends to these widespread designations for stationary Gaussian data. Notwithstanding, most practice appearances, for example, determining scope data representing car vibration, ordinarily, vary remarkably from this theory. The aforementioned is owing to varying situations, which appear in distinct vibration with changing excitement (Rouillard, 2007; Troncosi & Pesaresi, 2019). Additionally, it is an inadequate depiction of non-stationary data (Trapp & Wolfsteiner, 2021).

Considering the PSD is not an adequate characterize for such loading, its obligation to be complete by random variables that specified variations from the Gaussian hypothesis (Trapp et al., 2019). In the novel investigation, higher-order analytical consequences, e.g., skewness and kurtosis, applied to define how the probability density function (PDF) of practical loading varies from vibration loading (Kihm et al., 2013). Those one-dimensional tests can be highly effective identifiers. Still, their application needs some information about the characteristics of a load (Česnik et al., 2018). Skewness is utilized to assess the symmetrical degree of a random process (H. Zhou et al., 2018).

Suppose the amplitude is constantly changing. In that case, it is helpful to observe that the excitation amplitude does not constantly change at an assigned frequency. Its avg value conduces to remain constant such load histories can be characterized statistically in terms of a power spectrum density plot. PSD spectra plots are generally supplied to the analyst. Many random processes follow a gaussian distribution, also referred to as normal distribution. The excitation is assumed to follow a Gaussian distribution. The one sigma value represents a current 68.3% of the time. In contrast, three-sigma values represent occurrence 99.7% of the time in a random vibration analysis due to the input excitations are statistical. Therefore, the spectral intensity response is usually named response PSD or RPSD (Poshtan et al., 2018). Response PSD is like an input PSD, but it represents the output measured at a given location.

Since higher-order consequences are sensible to various outcomes that substantially decrease the stationary Gaussian basis, those may be powerful review parts, nonlinearities, or non-stationary responses. Accordingly, the variety of typical vibration loading through consequences might be vague. So cases were presented in Trapp & Wolfsteiner, (2019) those loads

of the equivalent PSD and kurtosis value could precisely differ in their fatigue capability. Kurtosis can not just be applied to specify a Gaussian and non-Gaussian pattern but notably distinguishes super-Gaussian and sub-Gaussian. The super-Gaussian pattern holds a narrow amplitude pattern centre region with a greatly more extended tailpiece (H. Zhou et al., 2018).

Rahim et al., (2021) researched the fatigue life forecast of a car suspension system exposed to random vibrations. Typically, the fatigue data improvement method is applied to treat the original stochastic vibration data. Nevertheless, this procedure appears incorrect through its time and repetition characteristics. (Wen et al., 2020). Besides, the improvement vibration data do not afford the repetition information beneficial in ascertaining vibration data precision. (Putra et al., 2020).

Most studies applied in vibration situations are constrained to random vibration filling, preferably of typical harmonious excitations. Notwithstanding, a massive division of high-cycle fatigue examination is unaccompanied touched by foretelling electronic components' fatigue life presented to a random vibration (Al-Yafawi et al., 2010). Chen et al., (2008) mixed the vibration breakdown review, FEA, and analytical formularization to determine the electronic parts' fatigue life. Che & Pang, (2009) used fatigue inspection and examination arrangement for solder joint fatigue life estimate. Perkins & Sitaraman, (2004) adopted a experiment to distinguish the fatigue breakdown for ceramic support framework arrangement. Yang et al., (2000) described the changing characteristics of a plastic globe framework array modelling.

In the field of fatigue analysis due to random vibration, Gharaibeh & Pitarresi, (2019); Pitarresi, (1990) and Pitarresi et al., (1991) examined the modelling methods of electronic parts that dominated vibration loading. They looked at lead/solder response and estimated its fatigue life (Yu et al., 2011). Wong et al., (2000) revealed an empirically verified vibration fatigue breakage model. Beneficial strains were computed and consolidated with the  $3\sigma$  procedures to estimate solder joint survivability. Li, (1999) exhibited a breakdown analysis classification of parts under the auto vibration conditions.

In fatigue life examination that suggested fracture beginning, fracture distribution and stress interpretation, the loading records encountered by the parts were applied to describe the responses that happened with the worked bodies (Kim et al., 2019; Leitner & Figuli, 2018; Rahim et al., 2021; Yuan et al., 2019). Loading records can be taken from data or trial load estimations (Chipman & Avitabile, 2012; Kong et al., 2018; Putra et al., 2015). Durableness examination of a random vibration encountered by a part can be protracted and merge low and high amplitude periods (Zhang et al., 2018). Consequently, designers propose to reduce low amplitude periods and stimulate fatigue examination.

The fatigue life investigation of a vehicle coil spring system is vital in revealing a car since it is everlastingly and straight proved to change loads while traveling. In addition, the coil spring further restricts the car from transporting damage and consume when traveling above hits and drops and still even drive covers (Jiregna & Sirata, 2020). The variety of driveway characterizations might induce fatigue breakdown in the coil spring operation owing to the system's repetition strain and force. Fatigue breakdown may promote the latest failure of suspension parts under particular situations (Zakaria et al.,

2018). In the fatigue life forecast of a vehicle coil spring system, behaviour propositions are ordinarily applied. The structural parts' varying stress responses are induced in the vibration conditions, leading to vibration fatigue breakdown. Seldom geometric disruptions, e.g., notches, endure in the structural features owing to the specific requirements. Below the random fatigue loadings, a notch can generate the stress distribution influence and loading disproportionately distribution influence in the notch circumference (P. Luo et al., 2019). Vibration fatigue life forecasted of the uniform parts (Aykan & Çelik, 2009; Mršnik et al., 2013, 2016) and notched parts (Gao et al., 2019; Ge et al., 2015; He et al., 2015; Z. Luo et al., 2019; Yadong Zhou & Tao, 2019) ought fascinated involved in recent years (Z. Luo et al., 2020).

S-N and E-N curves are commonly used in fatigue life estimates of bodies. Zhou et al., (2010) has suggested the S-N representations for SAC305 and Sn37Pb. Chin et al., (2008) wrote a fatigue depiction with the E-N curve for the BGA part. Still, the fatigue endurance for SAC compounds with separate Ag contentment was studied entirely for them originally. Besides, an estimation method bottomed on experimental vibration analyses and FEA to predict the fatigue life of parts.

The RPSD was taken and applied in determining the acquired damage which is further sensible than the generally used  $3\sigma$  scheme (Steinberg, 1988). Garcia et al., (2018) used Steinberg's methodology to estimate the fatigue life of materials utilised in the space application applying FEA. Yet, since the  $3\sigma$  stresses are statistical models, the  $3\sigma$  process presents responsive limited reliable fatigue life prediction, as explained in the earlier (Al-Yafawi et al., 2010), than the method utilised in this area.

## 2. Material and Method

### 2.1. Experimental Set-up and Test Car

To perform the vehicle roof luggage carrier's random vibration fatigue analysis, it is needful to measure the vibration on a sample passenger vehicle where the roof luggage will be mounted. Random vibration measurements were handled under two different scenarios (vehicle type and road type) and a total of four different driving speeds from previous studies. Specifications selected for random vibration measurements are given in Table 1.

Table 1. Specification of random vibration experimental setup under two scenarios

	Scenario 1			Scenario 2
Data source	(H. Zhou et al., 2018)			(EnDAQ, 2021)
Vehicle	Skoda Superb, 2015			Ford Taurus, 2003
Road type and route	Urban road in South China			Highway in USA
Speed, km/h	0-30	30-60	60-80	105
Overall vertical gRMS values, g	0.149	0.166	0.162	6.06
mean of moving RMS in vertical direction, g	0.142	0.160	0.157	6.06
Kurtosis	13.5	8.77	6.62	3.02
Skewness	-0.190	-0.140	-0.120	-0.011

In scenario one, 2015 Skoda Superb model car were taken for study. The authors used a data recorder (SAVER 3X90, Lansmont Corporation, Monterey, CA, USA), including an established-in tri-ax accelerometer, to obtain the vibration signals in vertical orientation. The sequence of any course was more than thirty min. (H. Zhou et al., 2018).

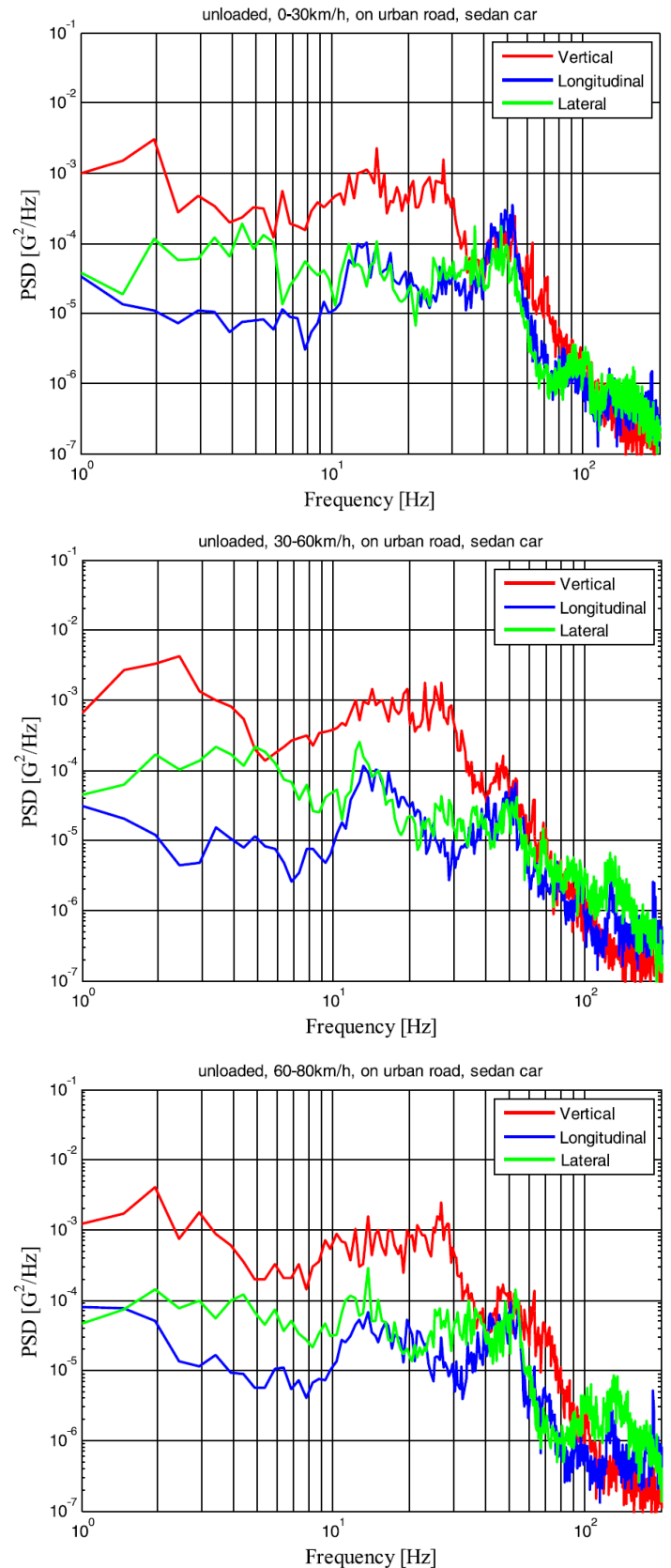


Fig. 1. PSD plots of scenario 1 (H. Zhou et al., 2018)



Whereas in scenario two, the vibration measurement vehicle is a 2003 Ford Taurus model car (EnDAQ, 2021). The author mounted an accelerometer in his auto's console. The vehicle was driven on a highway at 65 mph (~105 km/h). An accelerometer time history from this road test is given in Fig. 2. The PSD is shown in Fig. 3 (EnDAQ, 2021).

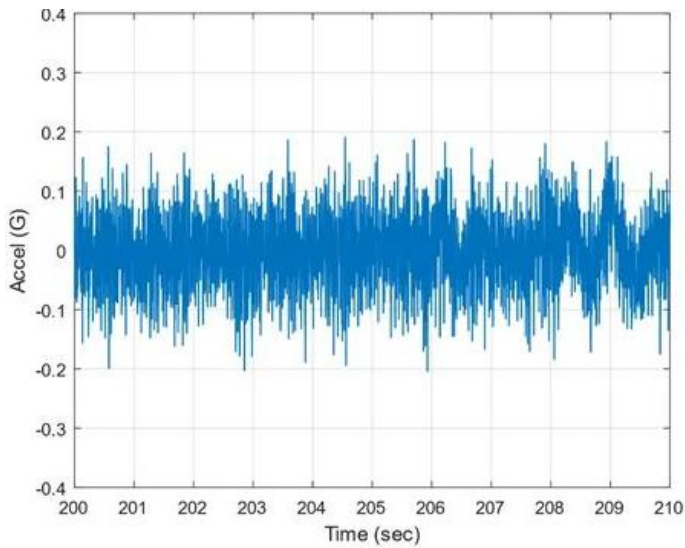


Fig. 2. Taurus time history (EnDAQ, 2021)

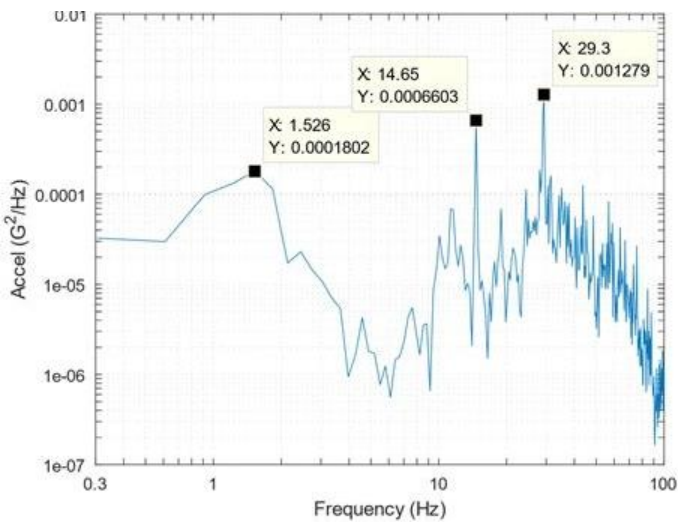


Fig. 3. Taurus PSD (EnDAQ, 2021)

## 2.2. Car Roof Luggage Carrier Geometry

The CAD drawing of the car roof luggage carrier, which is the subject of this paper, is given in Fig. 4, and its manufactured and assembled view is given in Fig. 5. A wall thickness of 1.5 mm in dimensions of 1250x1000 mm. It has seven intermediate bars and four mounting connectors. Unlike other parts, the mounting connectors of the vehicle have a wall thickness of 5mm.

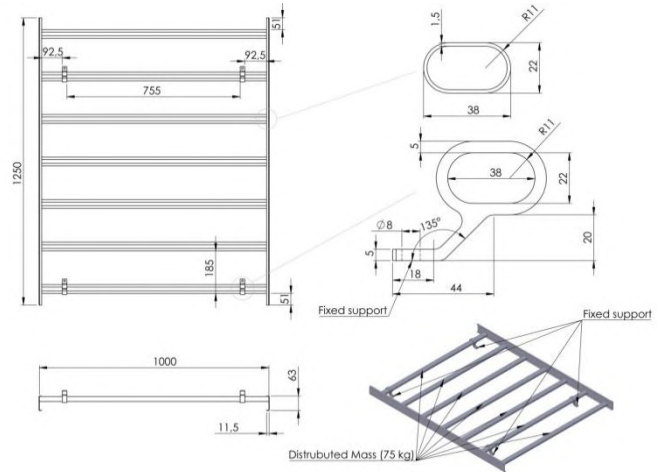


Fig. 4. 3D model of car roof luggage carrier



Fig. 5. Car roof luggage carrier mounted in a car

## 2.3. Finite Element Analysis

As mentioned in the introduction section, to perform random vibration analysis, it is necessary to perform modal analysis and obtain natural frequencies according to fashion shapes. Also, the modal analysis uses the static structural pre-stress. Ansys Workbench 19.2 program was used in this study for FEA. The interconnection of static structural, modal and random vibration analysis is given in Fig. 6.

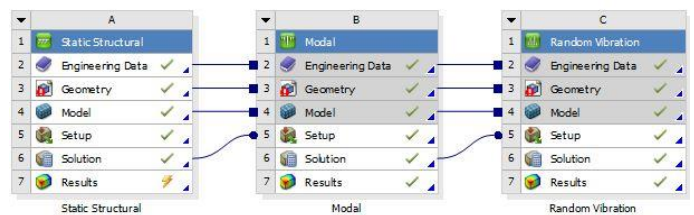


Fig. 6. Ansys Workbench project schematic

Geometry must have meshed before finite element analysis. The car roof luggage carrier geometry has meshed with 325,536 nodes and 105,682 elements. The higher the number of elements in the mesh, the more sensitive the FEA analysis result. However, a high number of elements requires high system resources. For this, an optimum mesh quality/number of elements should be preferred. In this study, knitted mesh quality was examined, and it was found that it was sufficient for this analysis. The mesh topology is shown in Fig. 7. Mesh element quality is minimum 0,32639, maximum 0,99994 and average 0,71197 (Fig. 8).

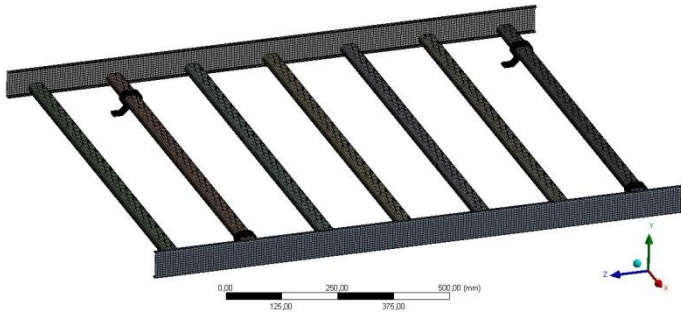


Fig. 7. Mesh topology

**2.3.1. Static Structural Analysis**

Which is the first step of the FEA analysis, the analysis was performed by applying for the fixed support, distributed mass (75kgf), and gravity in the -y-direction specified. Boundary conditions are also shown in Fig. 4.

**2.3.2. Modal Analysis**

A geometry has as many degrees of freedom as a mode shape. Typically, an object has six degrees of freedom: rotation in three directions and translation in three directions in space. This means that the mechanism will have a mode shape as much as the degree of freedom. This study is sufficient to consider the first six modes as a fixed single-assembled geometry is used instead of a mechanism.

**2.3.3. Random Vibration Analysis**

In this analysis, PSD-G acceleration data obtained from Fig. 3 is defined as input data. Random vibration analysis is solved by including the natural frequencies calculated due to the modal analysis and the PSD-G acceleration input data in the calculation. As a consequence of random vibration examination, deformation, stress, and fatigue life estimates are obtained.

**2.3.4. Fatigue Theory and Steinberg Formulation**

The goal of conducting a random vibration examination on a structure is to foretell fatigue life. The fatigue life of components

while using cyclic vibration is while the damage can be determined utilizing Miner’s Rule, affirming that separate events can explain the method. A spectrum of amplitudes of stress periods can be determined. Additionally, it is estimated that a constant-amplitude S-N curve is possible for a specific material (Ballesteros, 2018). This curve is agreeable with the definition of stress; that is, there is no explicit consideration of the probability of mean stress at the point mentioned above (Wirsching et al., 2006).

Fig. 9 (Wirsching et al., 2006) represents a stress spectrum defined as a progression of constant-amplitude blocks, in which each block has a stress amplitude  $S_i$  and the total quantity of implemented cycles  $n_i$ .  $N_i$  is the cycle of breakdown based on the S-N curve.

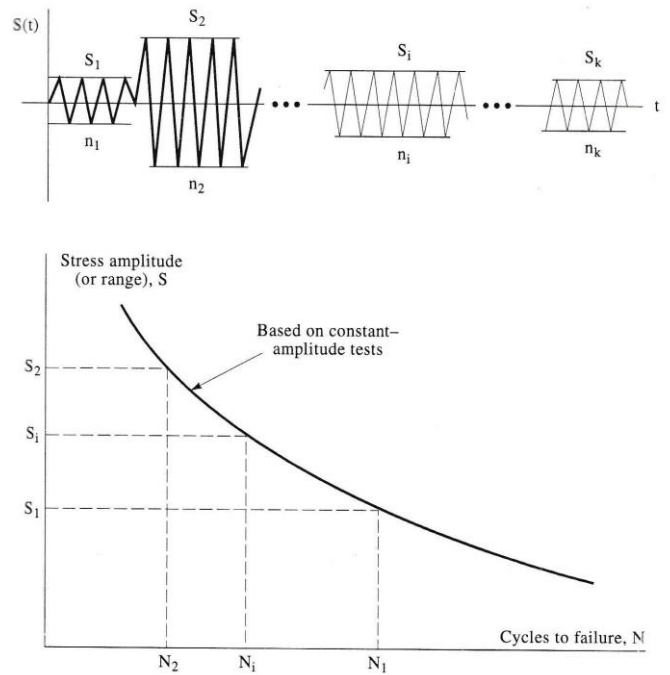


Fig. 9. Explanation of Miner’s Rule (Wirsching et al., 2006)

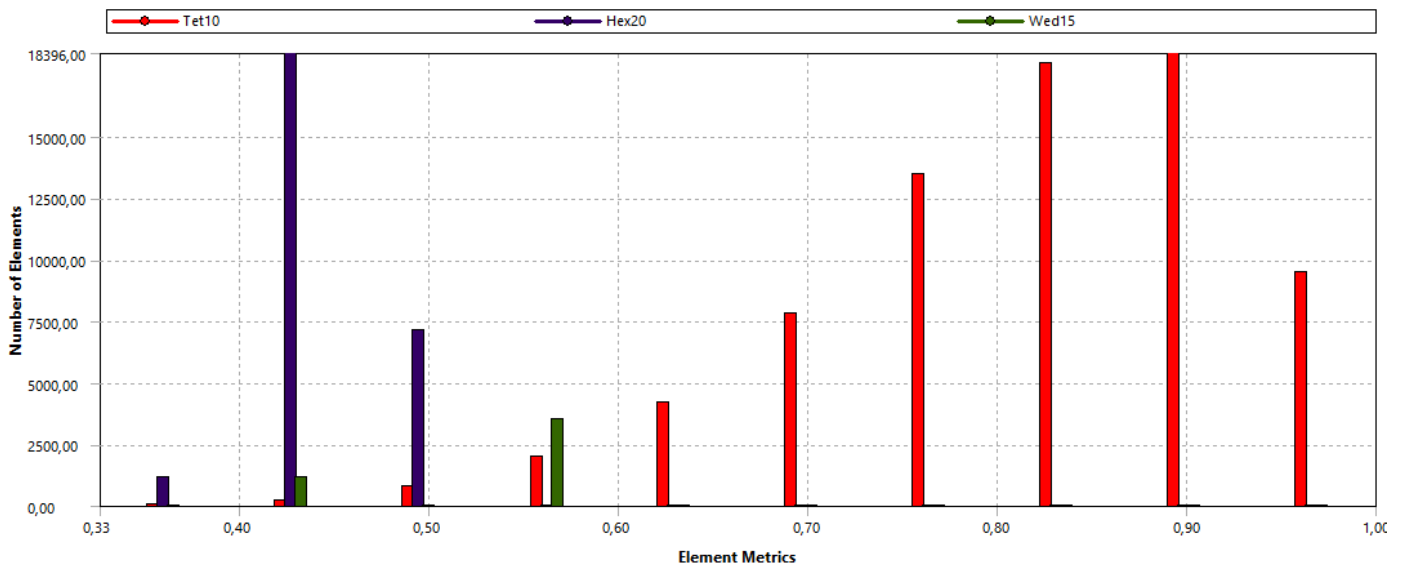


Fig. 8. Mesh element quality details

It is seen that the first block has a stress  $S_1$ , and from the S-N curve, the quantity of cycles to breakdown at that stress level is  $N_1$ . According to Miner's Rule, just  $n_i < N_i$  cycles are concerned, allowing breakdown has not happened. Thus, the fractional damage  $n_i = N_i$  is determined, which means that breakdown happens if this fraction is more notable than one. Consequently, Miner's rule declares the following (Ballesteros, 2018; Budynas et al., 2005; Wirsching et al., 2006).

The stress of the fractional damage (Wirsching et al., 2006):

$$S_i = \frac{n_i}{N_i} \quad (1)$$

Amount of fractional damages is the total damage (Wirsching et al., 2006):

$$D = \frac{n_{1\sigma}}{N_{1\sigma}} + \frac{n_{2\sigma}}{N_{2\sigma}} + \frac{n_{3\sigma}}{N_{3\sigma}} \quad (2)$$

In each of these ranges, the number of cycles ( $N_{1\sigma}$ ,  $N_{2\sigma}$  and  $N_{3\sigma}$ ) required for damage It can be ascertained from the S-N curve of the material (Steinberg, 1976). Breakdown will occur at (Wirsching et al., 2006):

$$D \geq 1 \quad (3)$$

Miner's Rule has some constraints on the subject of results. Miner's Rule does not regard into statement the order in which the sequences were implemented. There are states where the states beginning damage to the structure may decrease the strength limit of the part. For example, suppose a situation where the last period does not generate any damage because the stress level endures in the infinite life area of the material S-N curve. As a conclusion of the damage affected owing to the previous cycles, there may be a modification in the strength limit of the materials in influence following deliberate damage. Miner's Rule does not consider this (Ballesteros, 2018).

Part fatigue failure occurs up to cumulative damage in a value. The cumulative damage breakdown is an example of the structure's breakdown forms in the random operation environment, damaging the microdamage. The fatigue failure is calculated for stochastic vibrations and continuous stress amplitude in agreement with the S-N curve of the material under consideration. Each period will generate cumulative damage in the random vibration situation like the stochastic vibration fatigue approach (Tao et al., n.d.). In the random vibration situation, fatigue estimation is comparatively complicated since the structure's response is an arbitrary amount. In practice, the  $3\sigma$  method proposed by Steinberg is broadly used.

Steinberg, (1988) concluded that the possibility density function of spectrum range for a broadband signal tendency to a Gaussian frequency and suggested an RMS (Root Mean Square) amplitude. The Steinberg equation is given in Equation (4) (Halfpenny & Kihm, 2010).

$$N(S) = E(P) \cdot t \cdot \begin{cases} 0.683 \times 2RMS \\ +0.271 \times 4RMS \\ +0.043 \times 6RMS \end{cases} \quad (4)$$

According to Equation (5), the possibility of not passing a value of acceleration corresponding to the  $1\sigma$  is 68.3%. Likewise, the possibility concerning not exceeding the  $2\sigma$  and  $3\sigma$  values are 95.4% and 99.73%, respectively. The stress value higher than what happens inside 0.27% of the timescale assumed that it does not generate any breakdown. (Tao et al., n.d.). Where

$N$  is the assumed number of cycles of stress range  $S$  happening in  $t$  seconds and  $E[P]$  is the assumed amount of peaks concerned by Equation (5) (Halfpenny & Kihm, 2010).

$$E(P) = \sqrt{\frac{m_4}{m_2}} \quad (5)$$

Where  $m_2$  and  $m_4$  are the fourth and second moments of section of the PSD respectively: where the  $n^{\text{th}}$  moment of area is determined as (Halfpenny & Kihm, 2010):

$$m_n = \int f^n \cdot S(f) df \quad (6)$$

Where  $S(f)$  is the value of the single-sided PSD at frequency  $f$ Hz (Halfpenny & Kihm, 2010). RMS value for a continuous stationary Gaussian process  $\sigma$  given in Equation (7):

$$\sigma = \sqrt{m_0} = \sqrt{\int_0^\infty S(f) df} \quad (7)$$

Where  $m_0$  is the  $0^{\text{th}}$  moment of area of the power spectral density (area under the curve) (Halfpenny & Kihm, 2010).

The Steinberg formulation is frequently used in the literature (An et al., 2019; Ben Fekih et al., 2015; Dehbi et al., 2005; Demirel & Kayran, 2019; Gharaibeh, 2020; Kersch et al., 2020; L. Li et al., 2018; Park & Oh, 2021; Schriefer & Hofmann, 2019; Xia et al., 2019).

### 2.3.5. Material and S-N curve

The car roof luggage carrier is designed from St 44-2 (S235JRG2) quality structural steel material. The yield strength of the material is 250MPa, and tensile strength is 460MPa.

S-N (Wohler) curve shows the magnitude of the stress amplitude corresponding to the number of cycles a material is damaged. In this curve, the stress as well as the amount of cycles are usually shown in logarithmic scales. A loading history and an S-N curve, and Miner's Rule can be used to determine the mechanical part's cumulative damage or fatigue life. The S-N curve of St 44-2 (S235JRG2) quality structural steel material used in this study is given in Fig. 10.

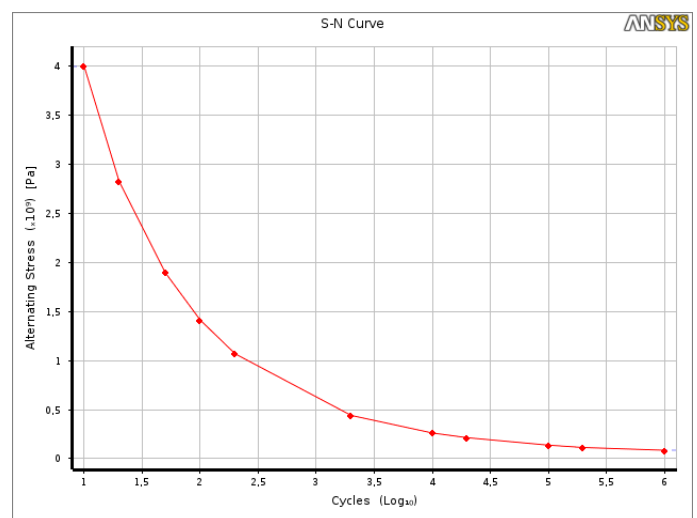


Fig. 10. St 44-2 material S-N curve

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Static Structural Analysis Results

As a result of the static structural analysis, the model's average stress value is 6,3607 MPa, and the average total deformation is 0,26845 mm. Equivalent (Von-Mises) stress result is given in Fig. 11

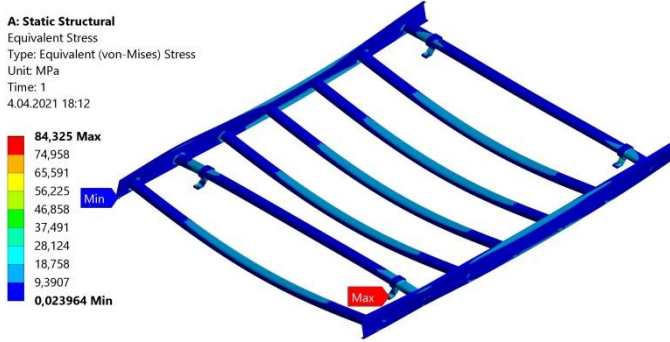


Fig. 11. Equivalent (Von-Mises) stress result

#### 3.2. Modal Analysis Results

The modal analysis uses the static structural pre-stress. Once completed, a note from the modal results, the model's natural frequencies range from 48 to 70 hertz for the first six modes. Table 2 shows the first six natural frequencies and mode shapes as received from the modal analysis result.

Table 2. Natural frequencies and mode shapes

	Natural frequency (Hz)	Mode shape
Mode 1	48,745	
Mode 2	54,810	
Mode 3	62,057	
Mode 4	66,569	
Mode 5	68,799	
Mode 6	69,943	

#### 3.3. Random Vibration Analysis Results

PSD G acceleration scope this to all supports and set the direction to the y-axis to see the probability of a component deforming in the vertical (y) direction. The PSD data given in Fig. 1-3 is defined as PSD G acceleration input in random vibration analysis. PSD G acceleration tabular data is given in Table 3.

Table 3. PSD G acceleration tabular data.

	Speed (km/h)	Frequency (Hz)	G acceleration (G <sup>2</sup> /Hz)
Scenario 1	0-30	45	8,00E-05
		50	6,00E-05
		55	1,00E-05
		60	8,00E-06
		65	2,00E-06
		70	1,50E-06
	30-60	45	1,00E-05
		50	2,00E-05
		55	1,00E-05
		60	2,00E-06
		65	1,50E-06
		70	1,80E-06
	60-80	45	3,00E-05
		50	2,00E-05
		55	8,50E-06
		60	1,25E-06
		65	4,00E-06
		70	1,50E-06
Scenario 2	105	45	1,40E-05
		50	6,40E-06
		55	1,10E-05
		60	5,30E-06
		65	1,05E-05
		70	4,40E-06
		75	4,10E-06

Three sigma equivalent stress result of random vibration analysis solved with PSD G acceleration data is given in Fig. 12. According to the Steinberg's method, the three sigma stress results from the value, which includes 99.73% of all stress values due to random vibration loading. This will be the best bet at accurately showing the amount of stress that model due to random vibration.



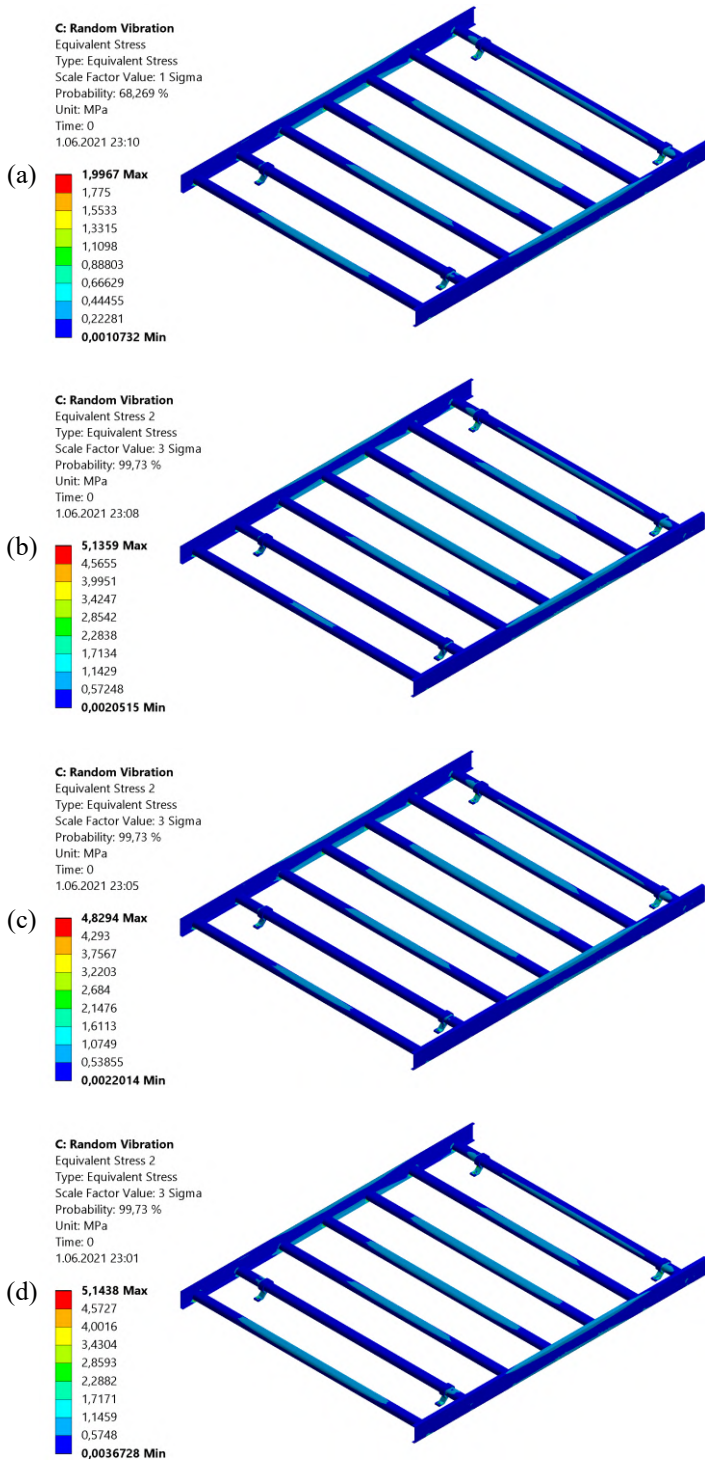


Fig. 12. Equivalent stress result ( $3\sigma$ ) a) Scenario 1 0-30 km/h b) Scenario 1 30-60 km/h c) Scenario 1 60-80 km/h d) Scenario 2 105 km/h

According to the three-sigma directional deformation result, it can be concluded that the maximum deformation of the model is in the range of approximately 0.065-0.080 millimeters with a 99.7% probability (Fig. 13). Notice that there is no deformation shape since these results are statistical in nature.

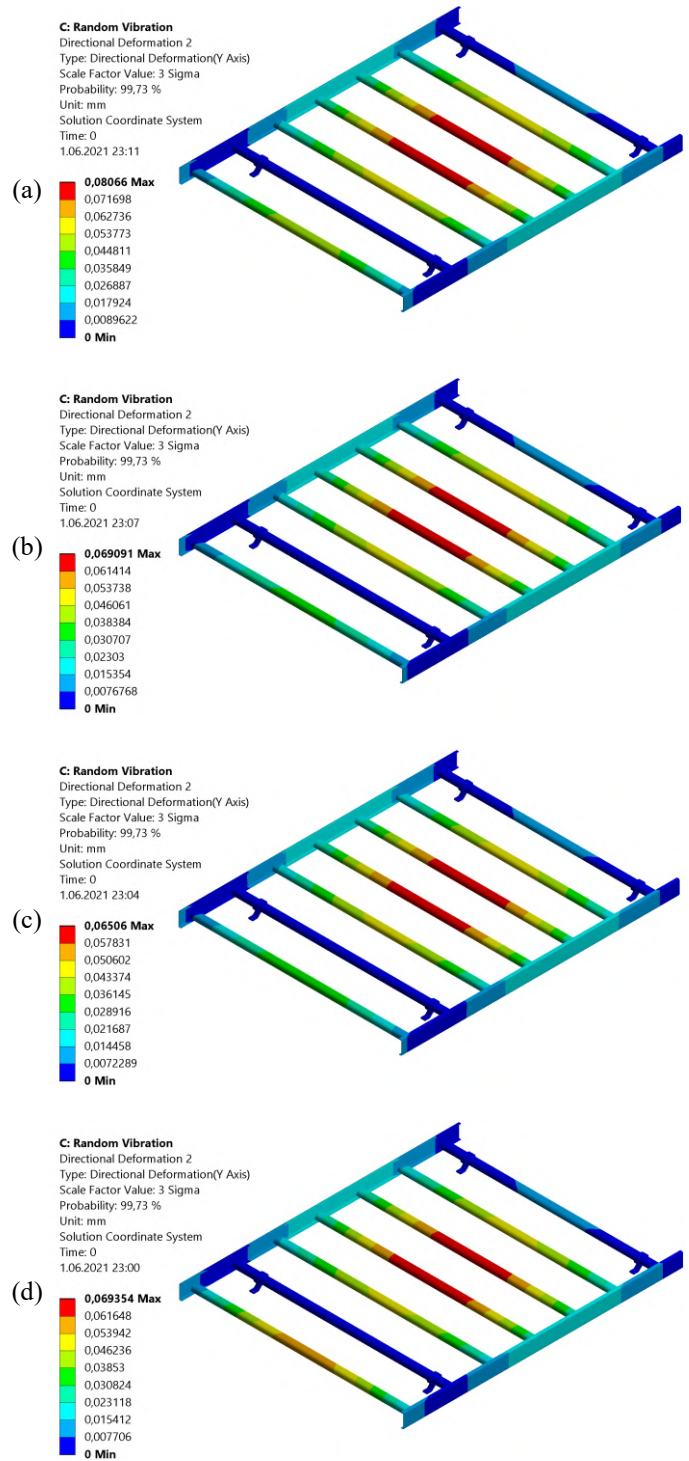


Fig. 13. Directional deformation result (Y-axis,  $3\sigma$ ) a) Scenario 1 0-30 km/h b) Scenario 1 30-60 km/h c) Scenario 1 60-80 km/h d) Scenario 2 105 km/h

The response PSD displacement is computed in the selected vertex (Fig. 14) of the geometry where displacement values are highest. Resonant frequencies and particular transmissibility achieved within spectrum examination additionally confirm the experimental random vibration sequences. In other words, the response PSD provides information about where the average power is distributed as a function of frequency. The summit displacement response occurs at the resonant frequencies on the assembly zone (Fig. 15).

C: Random Vibration  
Response PSD  
1.06.2021 20:46

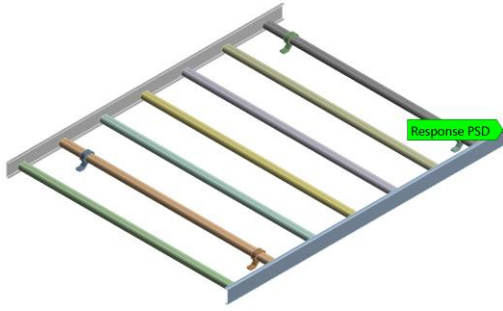


Fig. 14. Response PSD vertex selection

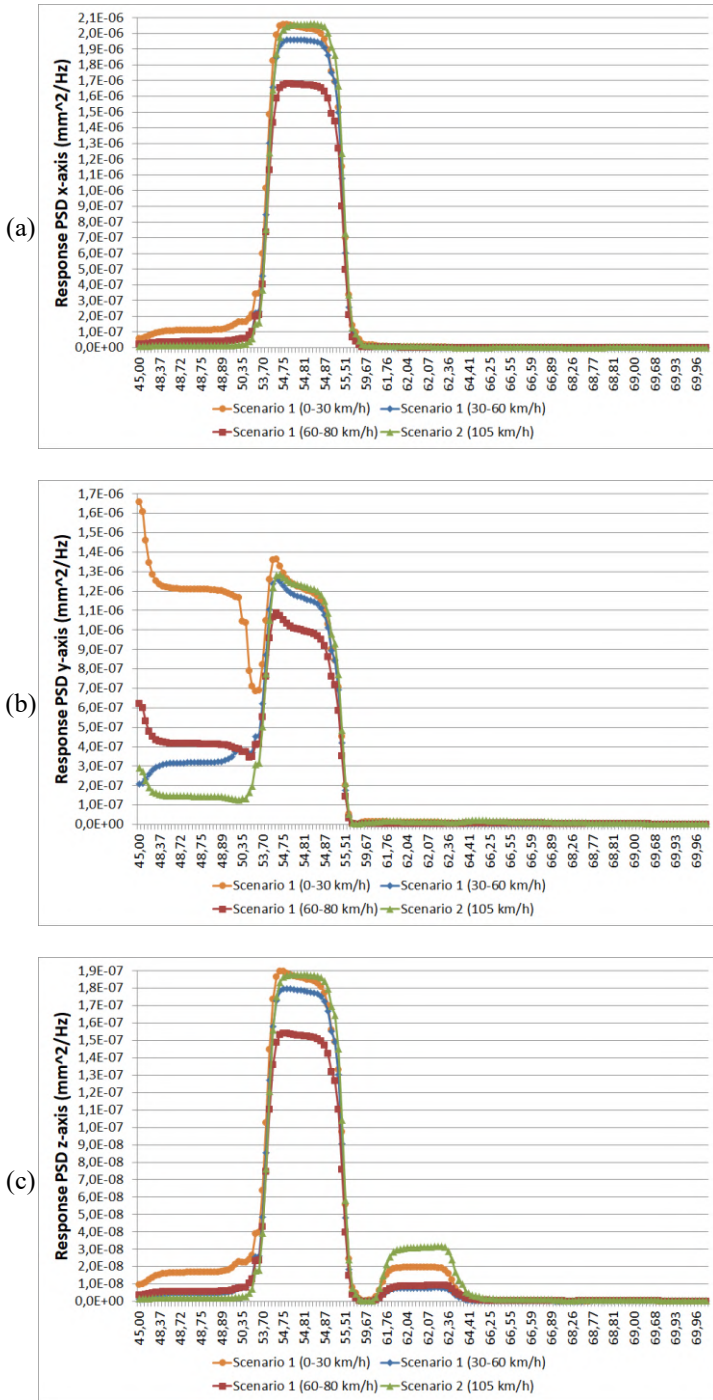


Fig. 14. Response PSD a) x-axis b) y-axis c) z-axis

The fatigue life of the model calculated according to the Steinberg's method is shown in Fig. 15. According to this result,

when the material starts to get tired, and the first fracture occurs due to fatigue, the minimum time varies between 3.73E+08 and 7.07E+08 seconds. Considering four different random vibration analyzes, the lowest fatigue life was obtained at Scenario 1 and 0-30 km/h driving speed, and the first fracture occurs due to fatigue was calculated as 3.73E+08 seconds. This time is equal to 103653 hours. This means, if a car roof luggage carrier is used for eight hours a day at an average speed of 0-30 km/h with a 75 kg load with a 2015 Skoda brand Superb Model vehicle, it will not suffer any fatigue damage 17275 days (approximately 47.3 years).

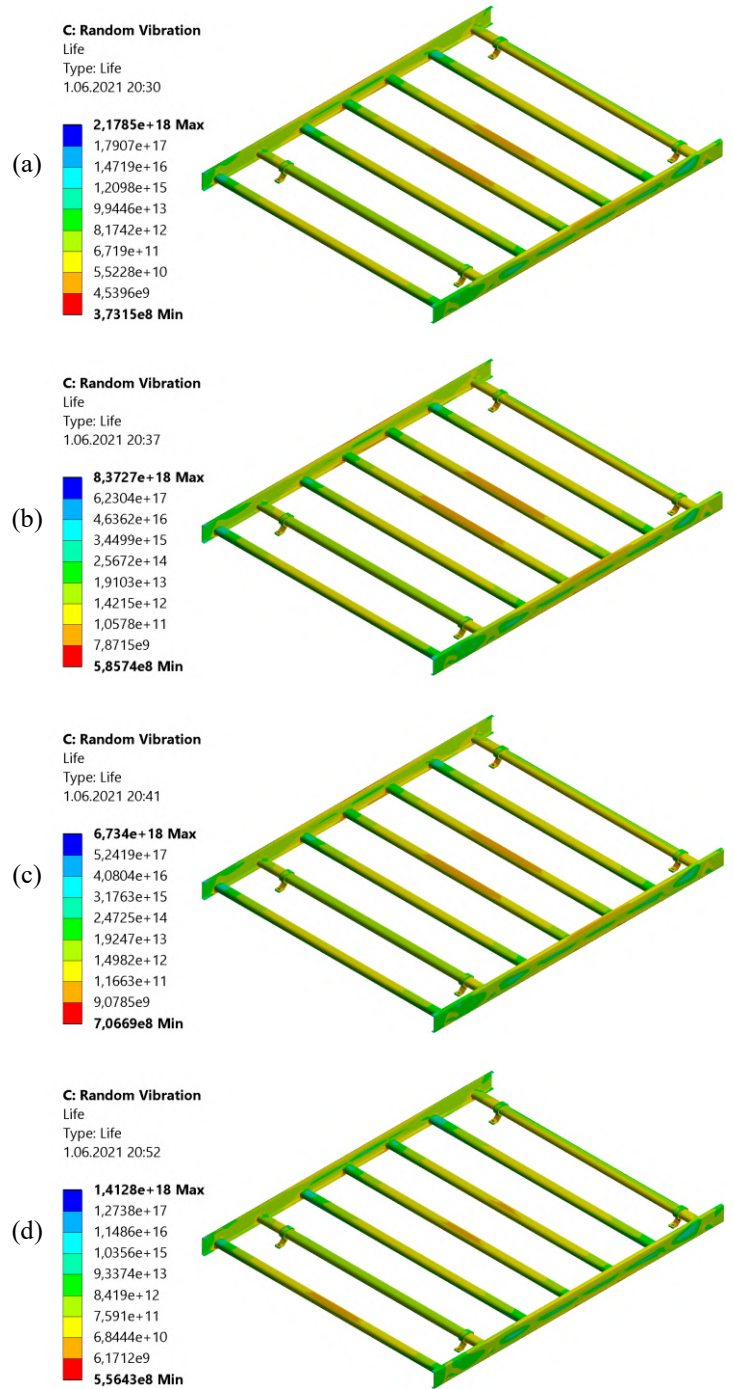


Fig. 15. Fatigue life a) Scenario 1 0-30 km/h b) Scenario 1 30-60 km/h c) Scenario 1 60-80 km/h d) Scenario 2 105 km/h



## 4. Conclusions and Recommendations

Random vibration is a linear analysis. The excitation is implemented as PSD statistical input. The base excitation could be an acceleration PSD in acceleration squared units, or G squared units a velocity PSD or a displacement PSD. In random vibration analysis, since the input excitation is statistical, the output responses such as displacements are stressed. The most distinctive feature of random vibration is not cyclic.

In both scenarios, cars had comparable PSD summit frequencies within the 45-70 Hz frequency area in the Skoda Superb and Ford Taurus car.

In this paper, random vibration analysis was applied by defining a 75kg load on the car roof luggage carrier applied according to the vibration and PSD data obtained according to the vehicle's engine, wind, and road conditions. It was estimated that no fatigue damage would occur for a minimum of 103653 hours using the Steinberg's method. If this study is repeated with different vehicles' PSD data in future studies, fatigue life can be estimated more precisely.

## References

- Al-Yafawi, A., Patil, S., Yu, D., Park, S., Pitarresi, J., & Goo, N. (2010). Random vibration test for electronic assemblies fatigue life estimation. *2010 12th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ITHERM.2010.5501295>
- An, T., Qin, F., Zhou, B., Chen, P., Dai, Y., Li, H., & Tang, T. (2019). Vibration lifetime estimation of PBGA solder joints using Steinberg model. *Microelectronics Reliability*, 102, 113474. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2019.113474>
- Aykan, M., & Çelik, M. (2009). Vibration fatigue analysis and multi-axial effect in testing of aerospace structures. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 23(3), 897–907. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2008.08.006>
- Ballesteros, E. L. (2018). *Failure Prediction of Structures Subjected to Random Vibrations*. The University Of Arizona.
- Ben Fekih, L., Kouroussis, G., & Verlinden, O. (2015). Verification of empirical warp-based design criteria of space electronic boards. *Microelectronics Reliability*, 55(12), 2786–2792. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2015.09.031>
- Budynas, R. G., Nisbett, J. K., & Tangchaichit, K. (2005). *Shigley's mechanical engineering design*. McGraw Hill New York.
- Česnik, M., Slavič, J., Capponi, L., Palmieri, M., Cianetti, F., & Boltežar, M. (2018). The relevance of non-stationarities and non-Gaussianities in vibration fatigue. *MATEC Web of Conferences*, 165, 1–9. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816510011>
- Che, F. X., & Pang, J. H. L. (2009). Vibration reliability test and finite element analysis for flip chip solder joints. *Microelectronics Reliability*, 49(7), 754–760. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.microrel.2009.03.022>
- Chen, Y. S., Wang, C. S., & Yang, Y. J. (2008). Combining vibration test with finite element analysis for the fatigue life estimation of PBGA components. *Microelectronics Reliability*, 48(4), 638–644. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.microrel.2007.11.006>
- Chin, I., Wong, S. F., Malatkar, P., & Canham, R. (2008). A mechanical fatigue assessment methodology to study solder joint reliability. *2008 33rd IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Conference (IEMT)*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/IEMT.2008.5507797>
- Chipman, C., & Avitabile, P. (2012). Expansion of transient operating data. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 31, 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2012.04.013>
- Dehbi, A., Ousten, Y., Danto, Y., & Wondrak, W. (2005). Vibration lifetime modelling of PCB assemblies using steinberg model. *Microelectronics Reliability*, 45(9–11), 1658–1661. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2005.07.074>
- Demirel, G. I., & Kayran, A. (2019). Implementation of Dirlik's damage model for the vibration fatigue analysis. *Procedia Structural Integrity*, 21, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.12.091>
- enDAQ. (2021). <https://endaq.com/pages/power-spectral-density>
- Gao, D., Yao, W., & Wu, T. (2019). A damage model based on the critical plane to estimate fatigue life under multi-axial random loading. *International Journal of Fatigue*, 129, 104729. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2018.06.025>
- García, A., Sorribes-Palmer, F., & Alonso, G. (2018). Application of Steinberg vibration fatigue model for structural verification of space instruments. *AIP Conference Proceedings*, 1922(January). <https://doi.org/10.1063/1.5019088>
- Ge, J., Sun, Y., Zhou, S., Zhang, L., Zhang, Y., & Zhang, Q. (2015). A hybrid frequency-time domain method for predicting multiaxial fatigue life of 7075-T6 aluminium alloy under random loading. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*, 38(3), 247–256. <https://doi.org/10.1111/ffe.12224>
- Gharaibeh, M. A. (2020). A numerical study on the effect of the fixation methods on the vibration fatigue of electronic packages. *Microelectronics Reliability*, 115, 113967. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2020.113967>
- Gharaibeh, M. A., & Pitarresi, J. M. (2019). Random vibration fatigue life analysis of electronic packages by analytical solutions and Taguchi method. *Microelectronics Reliability*, 102, 113475. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2019.113475>
- Halfpenny, A., & Kihm, F. (2010). Rainflow Cycle Counting And Acoustic Fatigue Analysis Techniques For Random Loading. *10th International Conference on Recent Advances in Structural Dynamics*. <http://fl1000.com/work/item/2907600/resources/2155739/pdf>
- He, G., Chen, H., & He, X. (2015). Fatigue behavior and influence factor analysis of the structure subject to multiaxial random loading. *Journal of Vibroengineering*, 17(7), 3620–3634.
- Jiregna, I., & Sirata, G. (2020). A review of the vehicle suspension system. *Journal of Mechanical and Energy Engineering*, 4.
- Kersch, K., Schmidt, A., & Woschke, E. (2020). Multiaxial fatigue damage evaluation: A new method based on modal velocities. *Journal of Sound and Vibration*, 476, 115297. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2020.115297>
- Kihm, F., Rizzi, S., Ferguson, N., & Halfpenny, A. (2013). Understanding how kurtosis is transferred from input acceleration to stress response and it's influence on fatigue

- life. *Rasd* 2013, July, 16.
- Kim, S.-W., Choi, H.-S., Jeon, B.-G., & Hahm, D.-G. (2019). Low-cycle fatigue behaviors of the elbow in a nuclear power plant piping system using the moment and deformation angle. *Engineering Failure Analysis*, 96, 348–361. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.10.021>
- Kong, Y. S., Abdullah, S., Haris, S. M., Omar, M. Z., & Schramm, D. (2018). Generation of artificial road profile for automobile spring durability analysis. *Jurnal Kejuruteraan*, 30(2), 123–128.
- Leitner, B., & Figuli, L. (2018). Fatigue life prediction of mechanical structures under stochastic loading. *MATEC Web of Conferences*, 157, 1–11. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815702024>
- Li, L., Gu, X., Sun, S., Wang, W., Wan, Z., & Qian, P. (2018). Effects of welding residual stresses on the vibration fatigue life of a ship's shock absorption support. *Ocean Engineering*, 170, 237–245. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.10.011>
- Li, R. S. (1999). A Methodology for Fatigue Prediction of Electronic Components Under Random Vibration Load. *Journal of Electronic Packaging*, 123(4), 394–400. <https://doi.org/10.1115/1.1372318>
- Li, Y., Mulani, S. B., Fei, Q., Wu, S., & Zhang, P. (2017). Vibro-acoustic analysis under stationary and non-stationary random excitations with KLE/FEM/BEM. *Aerospace Science and Technology*, 66, 203–215. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ast.2017.03.011>
- Luo, P., Yao, W., & Li, P. (2019). A notch critical plane approach of multiaxial fatigue life prediction for metallic notched specimens. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*, 42(4), 854–870. <https://doi.org/10.1111/ffe.12956>
- Luo, Z., Chen, H., & He, X. (2020). Influences of correlations between biaxial random vibrations on the fatigue lives of notched metallic specimens. *International Journal of Fatigue*, 139, 105730. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.105730>
- Luo, Z., Chen, H., He, X., & Zheng, R. (2019). Two time domain models for fatigue life prediction under multiaxial random vibrations. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 233(13), 4707–4718. <https://doi.org/10.1177/0954406219827038>
- Mršnik, M., Slavič, J., & Boltežar, M. (2013). Frequency-domain methods for a vibration-fatigue-life estimation – Application to real data. *International Journal of Fatigue*, 47, 8–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2012.07.005>
- Mršnik, M., Slavič, J., & Boltežar, M. (2016). Multiaxial vibration fatigue—A theoretical and experimental comparison. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 76–77, 409–423. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2016.02.012>
- Park, T. Y., & Oh, H. U. (2021). New PCB strain-based structural design methodology for reliable and rapid evaluation of spaceborne electronics under random vibration. *International Journal of Fatigue*, 146, 106147. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2021.106147>
- Perkins, A., & Sitaraman, S. K. (2004). Vibration-induced solder joint failure of a Ceramic Column Grid Array (CCGA) package. *2004 Proceedings. 54th Electronic Components and Technology Conference (IEEE Cat. No.04CH37546)*, 2, 1271–1278. Vol.2. <https://doi.org/10.1109/ECTC.2004.1320277>
- Pitarresi, J. M. (1990). Modeling of printed circuit cards subject to vibration. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2104–2107. vol.3. <https://doi.org/10.1109/ISCAS.1990.112213>
- Pitarresi, J. M., Caletka, D. V., Caldwell, R., & Smith, D. E. (1991). The “Smear” Property Technique for the FE Vibration Analysis of Printed Circuit Cards. *Journal of Electronic Packaging*, 113(3), 250–257. <https://doi.org/10.1115/1.2905403>
- Poshtan, E. A., Xingyuan, C., & Roessle, A. (2018). Resonance frequency dependency of Thermal Interface Materials (TIM) under vibration. *2018 19th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/EuroSimE.2018.8369948>
- Putra, T. E., Abdullah, S., & Schramm, D. (2020). Effect of cycle amplitude removal of fatigue strain loadings associated to signal energy characteristics. *Engineering Failure Analysis*, 116, 104723. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104723>
- Putra, T. E., Abdullah, S., Schramm, D., Nuawi, M. Z., & Bruckmann, T. (2015). Generating strain signals under consideration of road surface profiles. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 60–61, 485–497. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2015.01.031>
- Rahim, A. A. A., Abdullah, S., Singh, S. S. K., & Nuawi, M. Z. (2021). Fatigue strain signal reconstruction technique based on selected wavelet decomposition levels of an automobile coil spring. *Engineering Failure Analysis*, 125, 105434. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105434>
- Rouillard, V. (2007). On the Non-Gaussian Nature of Random Vehicle Vibrations. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, 2166(1), 1219–1224.
- Schriefer, T., & Hofmann, M. (2019). A hybrid frequency-time-domain approach to determine the vibration fatigue life of electronic devices. *Microelectronics Reliability*, 98, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2019.04.001>
- Steinberg, D. S. (1976). Avoiding vibration in odd-shaped printed circuit boards. *Machine Design*, 48(12), 116–119.
- Steinberg, D. S. (1988). Tools available for implementing AVIP. *Ninth Annual IEEE/AESS Dayton Chapter Symposium 'Avionics Integrity Program*, 23–31. <https://doi.org/10.1109/DAYTON.1988.76014>
- Tao, S., Chen, B., & Fan, X.-J. (n.d.). Structural Fatigue Life Prediction Based on ANSYS Random Vibration Analysis. *Proceedings of the 4th 2016 International Conference on Material Science and Engineering (ICMSE 2016)*, 235–238. <https://doi.org/https://doi.org/10.2991/icmse-16.2016.39>
- Trapp, A., Makua, M. J., & Wolfsteiner, P. (2019). Fatigue assessment of amplitude-modulated non-stationary random vibration loading. *Procedia Structural Integrity*, 17, 379–386. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.050>
- Trapp, A., & Wolfsteiner, P. (2019). Characterizing non-Gaussian vibration loading using the trispectrum. *Journal of Physics: Conference Series*, 1264(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1264/1/012040>
- Trapp, A., & Wolfsteiner, P. (2021). Frequency-domain characterization of varying random vibration loading by a



- non-stationarity matrix. *International Journal of Fatigue*, 146, 106115. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.106115>
- Troncossi, M., & Pesaresi, E. (2019). Analysis of synthesized non-Gaussian excitations for vibration-based fatigue life testing. *Journal of Physics: Conference Series*, 1264(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1264/1/012039>
- Wen, C., Xie, B., Li, Z., Yin, Y., Zhao, X., & Song, Z. (2020). Power density based fatigue load spectrum editing for accelerated durability testing for tractor front axles. *Biosystems Engineering*, 200, 73–88. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.09.008>
- Wirsching, P. H., Paez, T. L., & Ortiz, K. (2006). *Random vibrations: theory and practice*. Courier Corporation.
- Wong, T. E., Palmieri, F. W., Reed, B. A., Fenger, H. S., Cohen, H. M., & Teshiba, K. T. (2000). Durability/reliability of BGA solder joints under vibration environment. *2000 Proceedings. 50th Electronic Components and Technology Conference (Cat. No.00CH37070)*, 1083–1088. <https://doi.org/10.1109/ECTC.2000.853304>
- Xia, J., Yang, L., Liu, Q., Peng, Q., Cheng, L. X., & Li, G. Y. (2019). Comparison of fatigue life prediction methods for solder joints under random vibration loading. *Microelectronics Reliability*, 95, 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2019.02.008>
- Yang, Q. J., Pang, H. L. J., Wang, Z. P., Lim, G. H., Yap, F. F., & Lin, R. M. (2000). Vibration reliability characterization of PBGA assemblies. *Microelectronics Reliability*, 40(7), 1097–1107. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0026-2714\(00\)00036-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0026-2714(00)00036-6)
- Yu, D., Al-Yafawi, A., Nguyen, T. T., Park, S., & Chung, S. (2011). High-cycle fatigue life prediction for Pb-free BGA under random vibration loading. *Microelectronics Reliability*, 51(3), 649–656. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2010.10.003>
- Yuan, Z., Ma, H., Lu, Y., Zhu, S., & Hong, T. (2019). The application of load identification model on the weld line fatigue life assessment for a wheel loader boom. *Engineering Failure Analysis*, 104, 898–910. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.06.077>
- Zakaria, K. A., Idris, M. I. F., Dharmalingam, S., Suhaila Sallch, Sanusi, N., & Daud, M. A. M. (2018). Fatigue strain signal characteristic and damage of automobile suspension system. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(1), 221–225. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85040537934&partnerID=40&md5=44cba71ac1b0bf73743098b745841e82>
- Zhang, J., Fu, X., Lin, J., Liu, Z., Liu, N., & Wu, B. (2018). Study on Damage Accumulation and Life Prediction with Loads below Fatigue Limit Based on a Modified Nonlinear Model. *Materials*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/ma11112298>
- Zhou, H., Wang, Z.-W., & Zhi-Wei Wang, C. (2018). *Measurement and analysis of vibration levels for express logistics transportation in South China*. <https://doi.org/10.1002/pts.2404>
- Zhou, Y, Al-Bassiyouni, M., & Dasgupta, A. (2010). Harmonic and Random Vibration Durability of SAC305 and Sn37Pb Solder Alloys. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 33(2), 319–328. <https://doi.org/10.1109/TCAPT.2009.2036834>
- Zhou, Yadong, & Tao, J. (2019). Theoretical and numerical investigation of stress mode shapes in multi-axial random fatigue. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 127, 499–512. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2019.03.015>



# A Tree Based Machine Learning and Deep Learning Classification for Network Intrusion Detection

Şeyma Cihan<sup>1\*</sup>, Murat Aydos<sup>2</sup>, Nihat Yılmaz Şimşek<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> TUBITAK-Defense Industries Research and Development Institute-06261, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6267-2441), seyma.cihan@tubitak.gov.tr

<sup>2</sup> Department of Computer Engineering, Hacettepe University, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7570-9204), maydos@hacettepe.edu.tr

<sup>3</sup> Department of Computer Engineering, Hacettepe University, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0577-2766), nihatsimsek@gmail.com

(First received 2 March 2021 and in final form 16 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.889994)

**ATIF/REFERENCE:** Cihan, S., Aydos, M. & Simsek, N, Y. (2021). A Tree Based Machine Learning and Deep Learning Classification for Network Intrusion Detection. *European Journal of Science and Technology*, (31), 104-113.

## Abstract

Parallel to the developments in network technology, the number of attacks on the network has increased significantly. The need for powerful intrusion detection systems to maintain network security and stability is increasing on a daily basis. This study proposes an intrusion detection system using traditional machine learning and deep learning algorithms. In this study, the NSL-KDD dataset has been classified using Random Forest, Decision Tree and Deep Neural Network algorithms. In addition, variable subsets were determined by using the Gini index and CFS (Corelation Based Feature Selection) to decrease dimension of the dataset. As a result of the study, the highest accuracy rate was 99.972%, and it was obtained from Random Forest algorithm applied on the dataset that was reduced to 11 variables by CFS method. In addition, 99.64% accuracy rate was obtained from Deep Neural Network without feature engineering.

**Keywords:** Intrusion detection system, Machine learning, Decision tree.

## Ağ Saldırı Tespiti için Ağaç Temelli Makine Öğrenimi ve Derin Öğrenme Sınıflandırması

### Öz

Ağ teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak ağa yönelik saldırıların sayısı önemli ölçüde artmıştır. Ağ güvenliğini ve istikrarını korumak için güçlü izinsiz giriş tespit sistemlerine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu çalışma, geleneksel makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmalarını kullanan bir saldırı tespit sistemi önermektedir. Bu çalışmada, NSL-KDD veri seti Random Forest, Decision Tree ve Deep Neural Network algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, veri kümesinin boyutunu azaltmak için Gini indeksi ve CFS (Korelasyona Dayalı Özellik Seçimi) kullanılarak değişken alt kümeleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda en yüksek doğruluk oranı %99.97 olarak CFS yöntemi ile 11 değişkene indirgenen veri kümesi üzerinde uygulanan Random Forest algoritması ile elde edilmiştir. Ayrıca özellik mühendisliği olmadan Deep Neural Network'ten %99,64 doğruluk oranı elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Saldırı tespit sistemi, Makine öğrenimi, Karar ağacı.

\* Corresponding Author: seyma.cihan@tubitak.gov.tr

## 1. Introduction

In today's dizzying data flow traffic, protecting network technology against cyber attacks has become a vital necessity. NIDS (Network Intrusion Detection System) is the main security solutions that supports today's military applications, social systems, social networks, cloud services and other critical applications. NIDS automatically monitors network traffic to detect malicious activity and policy violations. Today, NIDS often uses signature-based detection techniques. However, the fact that signature databases need to be updated frequently in signature-based systems and can identify only known attacks motivates researchers to use approaches based on anomaly detection [1]. Systems based on anomaly detection primarily determine the normal behavior profile and can identify potential attacks in case of a significant deviation from normal [2,3]. Furthermore, NIDS based on anomaly detection is generally perceived as a stronger method in academic researches due to its theoretical potential to evaluate new attacks [4].

In systems based on anomaly detection, data mining and machine learning algorithms are often used to detect and prevent attacks [5,6]. In addition, effective NIDS are developed by using data mining methods as they are required to be able to identify and generalize attacks [7]. The developed software using machine learning algorithms can easily interpret complex and large amount of data related to network traffic to provide real-time detection, analysis and classification of attacks.

In classical machine learning methods, defining the features by experts with domain knowledge can reduce the complexity of patterns and make them more understandable and visible for algorithm. This process, requiring technical expert, is important and time-consuming. It also brings some problems like workload and high error rate because it is made by human [8]. Feature selection has vital importance for the performance of algorithm. In comparison of deep learning to other machine learning methods, there is no need feature selection process. Because the most relevant features are determined by deep learning model during the classification of dataset. In addition to feature selection problem mentioned above, classical machine learning approaches are not sufficient to solve a massive intrusion data classification problem which comes out a real network application environment [9]. In another study, it is presented that deep learning algorithm outperforms the other classical machine learning methods when they applied to high-dimensional data. Hence, it is shown importance of deep learning technology in high-dimensional data classification problems [10].

In this study, a new network intrusion detection technique based on Deep Learning is presented and then new method is compared to classical machine learning algorithms including Random Forest and Decision Tree. The two main contribution of the study proposed in this paper is:

- i) comparison of classical machine learning algorithms and deep learning method on NSL-KDD dataset for a network intrusion detection system. The deep learning model was built based on extensive experiments for a large number of deep learning models to create most suitable and efficient model for NIDS.
- ii) This study shows the effect of feature selection on classification of NSL-KDD dataset. Correlation based feature selection and Gini Index were applied to dataset for eliminating

the irrelevant features and then these new dataset with the less features given as input data to created classification models.

### 1.1. Literature

In recent years, many of studies have been conducted in the literature to identify intrusion detection systems by using machine learning and deep learning approaches. Tavallae et al. [4], in their study, developed a new set of training and test data, named NSL-KDD, to solve the problems of the KDD dataset that affect the classification performances of the algorithms. Researchers firstly extracted repetitive and invalid records in the training and test dataset. Then, the KDD training set was randomly divided into 3 subsets and each subset was trained three times with the J48 decision tree algorithm: Naive Bayes, NBTree, Random Forest, Random Tree, Multilayer Perceptron and Support Vector Machine (SVM) algorithms. The "successful prediction score" was kept for each record that was correctly labeled by machine learning algorithms and training and test datasets were grouped according to the scores obtained. According to these groups, the test datasets consisting of 125,973 records and 22,544 records were formed by a random selection. As a result, it was determined that machine learning algorithms showed better classification performance on newly created datasets without bias.

Olusola et al. [5], in their study, analyzed each variable in the KDD'99 dataset in terms of its impact on the classification performance and its distinctive power. In order to make these analyses, 10% KDD (kddcup\_data\_gz file) dataset was used. Two approaches were applied to assess the importance of the variable for the given attack class. Those were: calculating the rough set dependency rating for each class and calculating the dependency ratios of each class. As a result, the most relevant variables for each class were determined.

Horng et al. [2] developed an SVM-based classification system on the KDD-99 dataset. In the study, hierarchical clustering method was used in the preprocessing of the dataset. The accuracy of the developed system was 95.72% and false positive rate was 0.7%. In addition, the classification algorithm showed a better performance in DoS and Probe attacks than in similar studies. The system was also able to successfully identify the types of attacks that were not in the training dataset.

In Lin et al. studies [3], SVM (Support Vector Machine), DT (Decision Tree) and SA (Simulated Annealing) algorithms were applied on KDD dataset in order to develop intrusion detection system based on anomaly detection. In this study, to determine the best parameters for the DT and SVM algorithms, SA algorithm was also used. It was also used with SVM to determine the best subset of variables to improve classification performance. In order to evaluate the classification performance and obtain highest accuracy rates and decision rules, the k-fold method was used. Accuracy rate was determined as 99.96% on 23 variables in the developed classification system.

George [11] in his study, has made the anomaly detection using Principal Component Analysis (PCA) and Support Vector Machine (SVM) algorithms on KDD dataset. The SVM algorithm was applied on the original dataset and also the 28 variable dataset generated by the PCA algorithm, and the classification results were compared in terms of execution time, precision and recall. The SVM algorithm used with PCA

algorithm, reduced execution time and achieved a higher classification accuracy.

In the study [12], the number of variables on the KDD99 dataset was reduced to 16 variables by PCA algorithm, then applied the Naive Bayes classification algorithm on the WEKA platform. In this study, the Naive Bayes classification algorithm was applied on the reduced dataset and the original dataset, and their performance was compared in terms of classification accuracy and execution times. In the same study, the False Positive ratio of the classification algorithm applied to the reduced dataset was found to be higher than the original dataset, while the classification time and memory requirement were significantly less.

Revathi and Malathi [13] studied on the NSL-KDD dataset in which Random Forest, J48, SVM, CART and Naive Bayes algorithms were used for classification. The researchers compared the results by applying the classification algorithms on the a dataset of 15 variables reduced with CFS method and the original dataset with 41 variables. The highest accuracy rates were obtained by Random Forest classification algorithm. In addition, the accuracy rates obtained from the classification on 15 variables were higher than the classification results for the original dataset for all attack types.

In their work, Siddiqui and Naahid [14] applied k-Means clustering algorithm on the 10% KDD dataset using the Oracle 10g Data Miner (ODM) as a data mining tool, and 1000 clusters were created on the training dataset containing 494.019 records. The Euclidean distance was used as a distance function when applying the clustering algorithm. As a result of clustering algorithm, it was determined that attacks were more in TCP protocol. The highest number of attacks to the TCP protocol were DoS attacks with a rate of 51%. At the same time, the most common attacks in all protocols were found to be DoS and PROBE.

Shrivastava and Dewangan [15] applied CART, ANN, Bayes net, ANN and Bayes net, and CART and Bayes net classification algorithms on NSL-KDD and KDD-99 datasets in the first part of their work. Then, they applied the GR (Gain Ratio) feature selection algorithm to the best classifying algorithm. As a result of the classification, the best performance was obtained by the combined application of ANN and Bayes net algorithms. In the classification applied by decreasing the number of the features with GR on the 35 variables, the accuracy rate was 99.42% and in the NSL-KDD datasets, while on the 31 variables, the accuracy rate was 98.07%.

Al-Jarrah et al. [16], proposed two new feature selection methods for the NSL-KDD dataset, namely the RFFSR (RandomForest-Forward Selection Ranking) and the RF-BER (RandomForest-Backward Elimination Ranking). The features chosen by the proposed methods were compared with the three feature subset, which are well known in the literature of IDS and are selected by methods such as information gain, entropy, hybrid methods, and expert opinion. The performances of the generated subsets were compared by applying the RF classification algorithm, and experimental results showed that the features selected by the proposed methods improved detection and false positive rates by 99.8% and 0.001%, respectively.

Hasan et al. [17] applied Random Forest and SVM classification algorithms on the KDD99 dataset. Precision and false negative rate parameters were used in the study to evaluate the classification performances. The precision ratio of the RF classification algorithm was found to be higher by 80%, whereas the false negative rate of SVM algorithm was found to be lower by 31.69%.

In Dhanabal and Shantharajah [18], the J48, SVM, and Naive Bayes classification algorithms were applied using the WEKA tool for the detection of attacks on the NSL-KDD dataset. Firstly, researchers reduced the number of features to 6 by using the correlation-based feature selection algorithm. The highest accuracy rate obtained from the J48 machine learning algorithm was 99.8%.

Özgür and Erdem [6] identified descriptive statistics by using the KDD99 dataset between the years 2010-2015 as mentioned in their literature review. As a result of the study, the most commonly used algorithms were SVM and decision tree derivatives, the most commonly used software tools were MATLAB and WEKA, and the detection rate was the most commonly used metric.

In Farnaaz and Jabbar [19] studies, the Symmetrical Uncertainty (SU) method was used to reduce the number of variables, and the RF and J48 classification algorithms were applied on the original and reduced NSL-KDD dataset. In the study, accuracy, detection rate, false alarm rate, and mathews correlation coefficient parameters were used for performance comparison. The experimental results showed that the RF classification algorithm had better performance in terms of comparison parameters. Additionally, using the Symmetrical Uncertainty (SU) method increased the detection rate, decreased the false alarm rate.

Javaid et al. [20] presented a deep learning-based model to create an efficient Network Intrusion Detection System. They developed a deep learning model with self-taught learning algorithm and applied this model on NSL-KDD dataset. In this study, binary and multiclass classification methods were used on test dataset. As a result of performed classification with binary and multiclass classification types have revealed an accuracy rate of 88.39% and 79.10%, respectively.

In another study, Tang et al. [21] developed a deep neural network-based model for intrusion detection system and six major features are selected from the original NSL-KDD dataset for training of the developed model. Different learning rate values were used for optimization of the model and at the end of that study, learning rate 0.001 is found to be most successfully with an accuracy rate of 91.62% in terms of determined all metrics including precision, recall and f-measure.

Yin et al. [9] applied Recurrent Neural Networks algorithm with binary and multiclass classification for intrusion detection and compared results to classical machine learning algorithms including J48, SVM and Random Forests. RNN-IDS model achieved 97.09% accuracy on test dataset compared to applied classification algorithms.

KDD Cup '99 and NSL-KDD datasets were given as test dataset to developed Non-Symmetric Deep Auto-Encoder model



on GPU based Tensorflow by Shone et al. [8] for creating an intrusion detection system. As a result of performed classification, proposed model have achieved an accuracy rate of 97.85% on KDD Cup '99 dataset and 85.42% on NSL-KDD dataset.

Aljawarneh et al. [7] proposed a hybrid classification model on the NSL-KDDTrain + 20% dataset in their study. First, using the Information Gain (IG) method, they reduced the variable number to 8 variables by selecting variables with an IG score above 0.40. Then, J48, Meta Paggging, Random Tree, REPTree, Ada BoostM1, Decision Stump, and Naive Bayes algorithms were applied to the selected variable subset, and the attack classification was performed. The performance of the developed model was compared with the performance of the J48, SVM and Naive Bayes classification algorithms. As a result, the proposed hybrid model showed the best performance with 96.2% to 99.9% accuracy in determining all attack classes.

In the Biswas' [22] study, on the NSL-KDD dataset, subsets of the variables were determined by the Correlation Based Feature Selection (CFS), the Principal Component Analysis (PCA), the Information Gain Ratio Feature Selection (IGR) and the Minimum Redundancy Maximum Relevance methods. On the dataset consisting of selected variables, Naive Bayes, Support Vector Machine, Decision Tree, Neural Network, and k-Nearest Neighbor classification algorithms were applied by using WEKA tool. According to the results of the experiment, the highest accuracy rate of 99.07% was reached using the K-NN classification algorithm applied after decreasing dimension of the the dataset with the IGR method.

Özgür and Erdem [23] proposed a model called GA-NS-AB (Genetic Algorithm Based Feature Selection and Weighting). The developed model was implemented on the NSL- KDD dataset. In their study, classifier fusion was made with Adaboost, Decision Tree, Logistic Regression, Naive Bayes, Random Forest, Gradient Boosting, K Nearest Neighbor and Artificial Neural Networks. ANOVA statistical test was used to compare the fusion classifier results. Compared to other studies in the literature, the GA-NS-AB model (4 classifier fusion) was found to have a better performance with an accuracy of 90.75%. According to the results of the experiments, it was determined that weighted fusion classifications using 3 and 4 classifiers were sufficient.

Gurung et al. [24] introduced a sparce auto-encoder deep neural network approach with logistic regression. They used NSL-KDD dataset as input and binary classification as the output of model. Confusion matrix was used as evaluation metric of the classification results. In the presented study, it was found 87.2% accuracy rate. In this study, Random Forest and Decision Tree algorithms, which are widely used in machine learning domain, are selected for the purpose of classification on network traffic data to determine intrusion. Additionally, Gini index and CFS methods is also used to reduce the dimension of the dataset, which has critical importance for high volume traffic data. To the best of our knowledge, this is the first study that uses these two methods together for reducing dimension in NSL-KDD dataset. Also, the classification performances obtained by the machine learning algorithms are presented comparatively in terms of determined parameters.

In Addition to Random Forest and Decision Tree algorithms, our proposed deep learning algorithm implemented to dataset for the intrusion detection system. These algorithms are analyzed for the purpose of comparison for their performances and accuracies and it is expected to show deep learning algorithm also has an important potential for creating intrusion detection system.

## 2. Material and Method

### 2.1. Dataset Description

In this study, the NSL-KDD dataset was used. The NSL-KDD dataset was created by deleting repetitive and redundant records and reducing the data size on a KDD 99 dataset. Within the scope of the study, classification algorithm was applied on a 20% of the training dataset instead of the whole of the dataset due to execution cost. The dataset consists of 25,192 records and 41 variables.

There are 21 different types of attack in the NSL-KDD training dataset. These types of attacks are grouped into four different categories. Table 1 shows the types of attacks and the classes that they belong to [18, 25]. The attack classes are classified as Probing, Denial of Service (DoS), Remote to Local (R2L) and User to Root (U2R) attacks [26].

Table 1. Attack Class and Type Matching

Dataset Attack Class	Attack Type
DoS	Back, Land, Neptune, Pod, Smurf, Teardrop, Apache2, Udpstorm, Processtable, Worm, Mailbomb
PROBE	Satan, Ipsweep, Nmap, Portsweep, Mscan, Saint
R2L	Guess_Password, Ftp_write, Imap, Phf, Multihop, Warezmater, Warezclient, Spy, Xlock, Xsnoop, Snmppguess, Snmppgetattack, Httptunnel, Sendmail, Named
U2R	Buffer_overflow, Loadmodule, Rootkit, Perl, Sqlattack, Xterm, Ps

**Probe Attacks:** They aim to obtain information about the target network from an external source network. Therefore, the basic connection level properties such as “duration of connection” and “source bytes” are significant when detecting the probes. However, it is not expected to provide information such as “number of files creations” and “number of files accessed”.

**DoS Attacks:** DoS attacks prevent the services provided by the target through illegal requests. For this reason, “percentage of connections having same destination host and same service”, and packet level features such as “source bytes” and “percentage of packets with errors” are important traffic features.

**R2L Attacks:** R2L attacks are one of the most difficult attacks to detect. Includes network level and host level features. Therefore, to determine the R2L attacks, network-level properties such as “duration of connection” and “service requested”, as well as host-level properties such as “number of failed login attempts” are required.

**U2R Attacks:** U2R attacks contain semantic details that are very difficult to catch at an early stage. Such attacks are often content-based and target an application. Therefore, features such as “number of file creations” and “number of shell prompts invoked” are relevant; however, features such as “protocol” and “source bytes” are ignored.

## 2.2. Feature Selection

The variables in the dataset have a key role in the performance of machine learning algorithms. The variables in the NSL-KDD dataset are grouped into four main groups: TCP connection basics, TCP connection content properties, time-based network traffic and host-based network traffic. Some of the features included in the dataset are not only important in training of machine learning algorithms, but also have a role in improving the detection rate [27]. However, during the construction of the machine learning model, the use of all features of the dataset is not effective in terms of processing time and cost. Therefore, it is important to reduce the dataset dimension by identifying the relevant features in establishing robust learning models.

In machine learning applications, determining the importance of a variable that is a result of complex interactions with other variables can be a difficult problem for researchers. In order to decrease the dimension of the dataset, the correlation-based feature selection method CFS (Corelation based feature selection) and Gini index are used.

Important variables according to CFS method are having a high correlation with the target or class variable, but a low correlation with other variables in the dataset [22]. CFS method, which is also one of the filter based feature selection, is implemented by using WEKA tool. In CFS method, in addition to intercorrelation between the variables, it also predicts the correlation between a subset of features and a class variable. CFS can be computed by using Equation 1, where  $C_s$  is the correlation between summed variable subsets and the target class variable,  $S_n$  is the number of subset variables,  $R_{ci}$  is the average correlation between variables and target class variable, and  $R_{ii}$  is the average intercorrelation between variables [28].

$$C_s = \frac{S_n R_{ci}}{\sqrt{S_n + S_n(S_n - 1)R_{ii}}} \quad (1)$$

In addition to the CFS method, significant variables were determined for the classification by calculating the Gini index (Mean Decrease Gini) [29]. The Random Forest algorithm offers two different methods, which can be used for feature selection or ranking. These methods are Mean Decrease Accuracy (MDA) and Mean Decrease Gini (MDG). MDA determines the

importance of a variable on out of bag observations that are not used for growing tree by measuring the change in classification accuracy when the variable values are randomly permuted as compared to the initial observed values. MDG is obtained by the sum of all decreases in Gini impurity for a given variable after each split [30, 31]. Although Random Forest algorithm provides two different feature selection method, MDG and the Gini index provide more robust subset results as compared to MDA [31]. Therefore, MDG is used for reducing dataset dimension to construct classification model in this study. The Gini index is calculated for all variables in the dataset. Each tree in the forest is used for the calculation of Gini importance. This value gives the value of Gini for any m variable [32]. In Equation 2:

$$GI(t) = 1 - \sum_k p(k|t)^2 \quad (2)$$

where  $GI(t)$  shows the Gini index and  $p(k|t)$  shows the rate at which the class  $k$  can be separated correctly in the  $t$  node. In Equation 3:

$$\Delta GI(t) = P_t GI(t) - P_L GI(t_L) - P_R GI(t_R) \quad (3)$$

where  $\Delta GI(t)$ : the Gini difference;  $P_L GI(t_L)$ : the Gini index on the left side of the node;  $P_R GI(t_R)$ : the Gini index on the right side of the node;  $P_t$ : the number of instances before the division;  $P_L$ : the number of samples on the left side after the division;  $P_R$ : the number of samples on the right side after the division [33].

## 2.3. Classification Models

There are different machine learning algorithms that have been acknowledged in the literature in order to develop attack detection systems.

In this study, Random Forest algorithm, which is a ensemble learning algorithm, has been selected because of its advantages for establishing the classification model. The Random Forest algorithm performs well in most problem areas, provides good results on both numeric and categorical data as well as for noisy or missing datasets, and can be applied on dataset containing a large number of features. It is powerful against overfitting and does not require pruning in the tree after the model constructing process [32, 34].

In order to compare the performance of the Random Forest algorithm with the results obtained from a single decision tree, the J48 Decision Tree algorithm - one that also allows the researchers to interpret the tree results - is used. The classification model and applications are developed through the R program on RStudio and WEKA platform.

In this study, Deep Neural Network (DNN) is proposed as another classification method. DNN is in fact an artificial neural network (ANN) with several hidden layers of units across the input and output layers [35]. DNN can also get model of

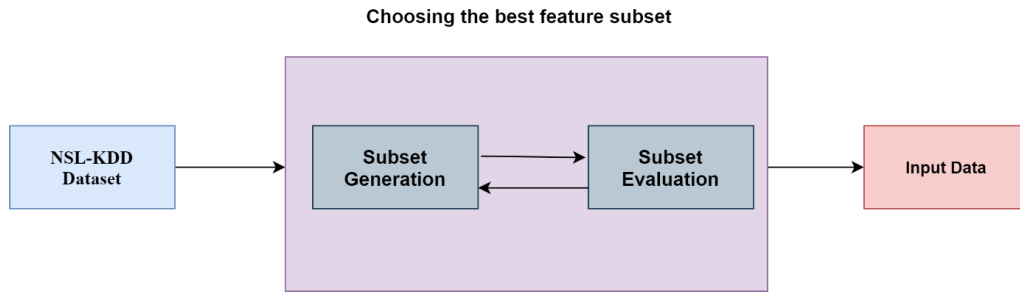


Figure 1. General structure of feature selection

complex non-linear relationships like ANN, but DNN have the extra layers which allows feature combinations from lower layers. Hence, DNN have more capability to create models for complex data with less units than networks designed similarly [36]. DNNs are generally aimed to function as feed-forward networks and they can be discriminatively trained with the standard back-propagation algorithm. Stochastic Gradient Descent is used to update weights with the following equation (4):

$$w_{ij}(t + 1) = w_{ij}(t) + \mu \frac{\partial C}{\partial w_{ij}} \quad (4)$$

where,  $\mu$  denotes the learning rate and  $C$  represents the cost function. The selection of the cost function is dependent on parameters like the learning model (supervised, unsupervised etc.) and the activation function. For instance, given that supervised learning is applied on a multiclass classification problem, softmax function can be chosen as the activation function and cross entropy function can be used as cost function. Mathematically, the softmax function can be expressed with the following equation (5):

$$P_j = \frac{\exp(x_j)}{\sum_k \exp(x_k)} \quad (5)$$

where,  $P_j$  represents the probability of class (output of the unit  $j$ ) and  $x_j$  and  $x_k$  represent the total input to units  $j$  and  $k$  respectively of the same level. Cross entropy (cost function in a

supervised learning on multiclass classification problems) is obtained with the equation (6):

$$C_r = \sum_j d_j \log(P_j) \quad (6)$$

where  $d_j$  represents the target probability for output unit  $j$  and  $P_j$  is the probability output for  $j$  after applying the activation function [37].

In this study, H2O cluster library of R program used for implementation of proposed deep neural network approach on NSL-KDD dataset. H2O cluster library provides an efficient framework for usage of large datasets including network intrusion data in deep learning algorithm.

### 2.4. Model Evaluation

The Confusion Matrix is an important tool for evaluating the performance of the applied classification models. Table 2 shows the components of the confusion matrix. The parameters used to evaluate the classification performance are obtained from the confusion matrix. The confusion matrix components used in the attack detection classification are defined as follows:

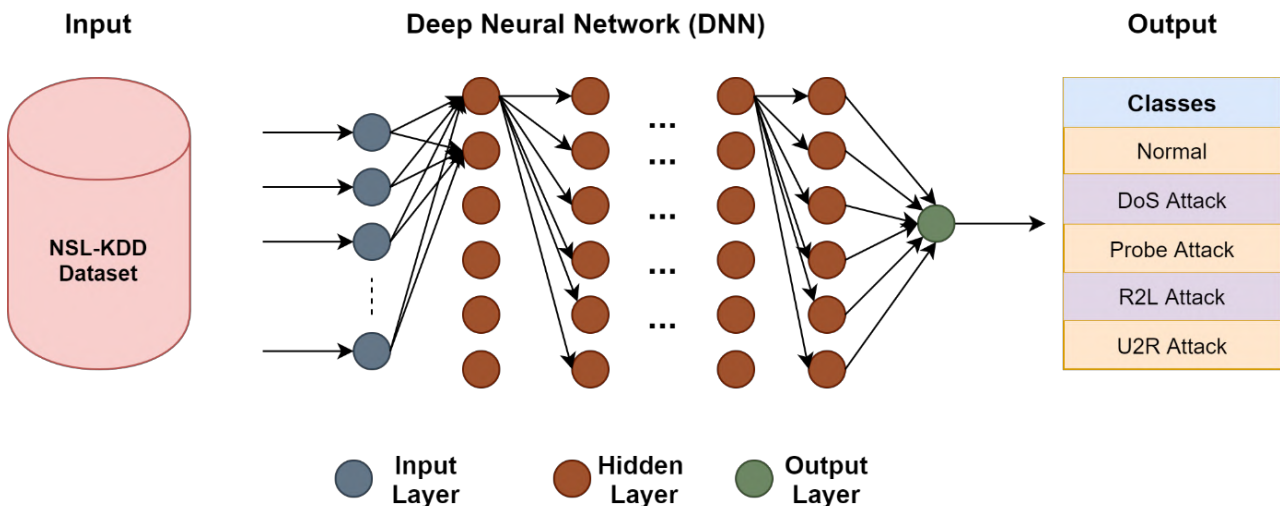


Figure 2. Proposed deep neural network model for NIDS classification

**True-Positive (TP):** Classification of attacks as attacks

**True-Negative (TN):** Classification of non-attacks as non-attacks

**False-Positive (FP):** Classification of normal ones as attacks

**False-Negative (FN):** Classification of attacks as normal

Table 2. Confusion Matrix

Actual values	Predicted Values		
		No Attack	Attack
	No Attack	TN	FP
Attack	FN	TP	

To evaluate the classification model performance; Accuracy, TP Rate, FP Rate, Precision, Recall, F-measure, ROC area and Time parameters are used.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Experimental Results

In the study, the pre-analysis of the dataset was performed by R program both graphically and statistically before the classification model was established. Figure 3 shows the main classes of the attacks and counts in the NSL-KDD dataset.

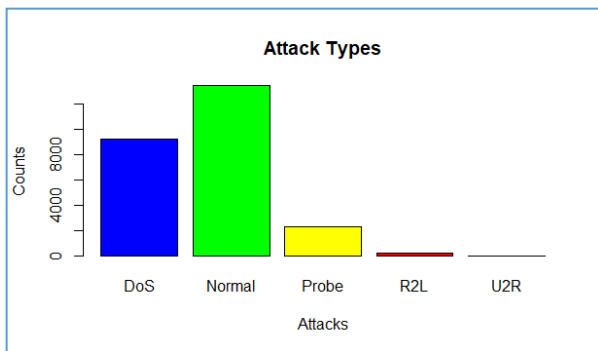


Figure 3. Attack Types in NSL-KDD Dataset

From this, it was seen that the dataset has DoS attack types the most. This was followed by Probe attacks. In addition, when the attacks were examined according to the protocol type, it was determined that the maximum number of DoS attacks were in the TCP protocol, whereas the maximum of the Probe attacks were in the ICMP and UDP protocols (Figure 4).

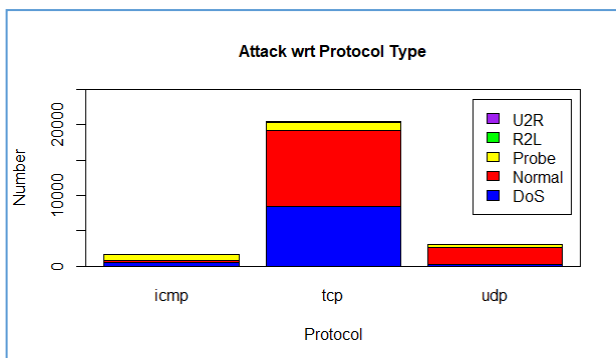


Figure 4. Attacks wrt Protocol Type

To constructing a classification model, J48 Decision Tree and Random Forest algorithms was applied on the original

dataset consisting of 41 variables. Then, significant variables were determined by Mean Decrease Gini (Gini Index) and CFS methods. Table 3 shows the selected subset of features.

Table 3. Selected features

Feature Selection Method	Selected Features
Gini Index	service, protocol_type, flag, src_bytes, dst_bytes, count, srv_count, serror_rate, same_srv_rate, diff_srv_rate, dst_host_srv_count, dst_host_srv_serror_rate, dst_host_diff_srv_rate, dst_host_same_src_port_rate, dst_host_serror_rate
CFS	service, flag, src_bytes, dst_bytes, logged_in, root_shell, srv_serror_rate, same_srv_rate, diff_srv_rate, dst_host_srv_diff_host_rate, dst_host_serror_rate

Figure 5 shows the 15 most important variables by Gini index. According to Gini index, the variables src\_bytes, same\_srv\_rate, and flag were determined as the three most important variables for the classification model.

Furthermore, importance rank of features by deep learning model is shown Figure 6. According to the results of the deep learning model, num\_compromised, src\_bytes and srv\_count are the most relevant features in dataset and src\_bytes is the common variable in both approaches.

After feature selection process, classification algorithms have been applied on NSL-KDD dataset. Firstly, classical machine learning algorithms have been applied for comparison purpose and then the results were obtained with deep learning model. Used classical machine learning algorithms are J48 DT and RF. Afterwards, deep learning models have been applied on features selected dataset.

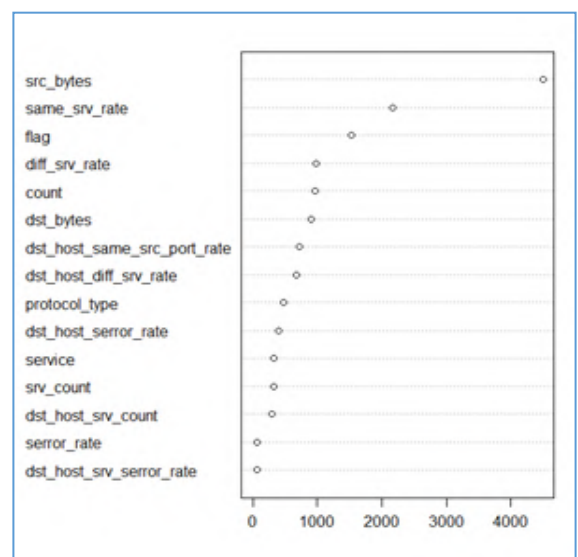


Figure 5. Mean Decrease Gini Result



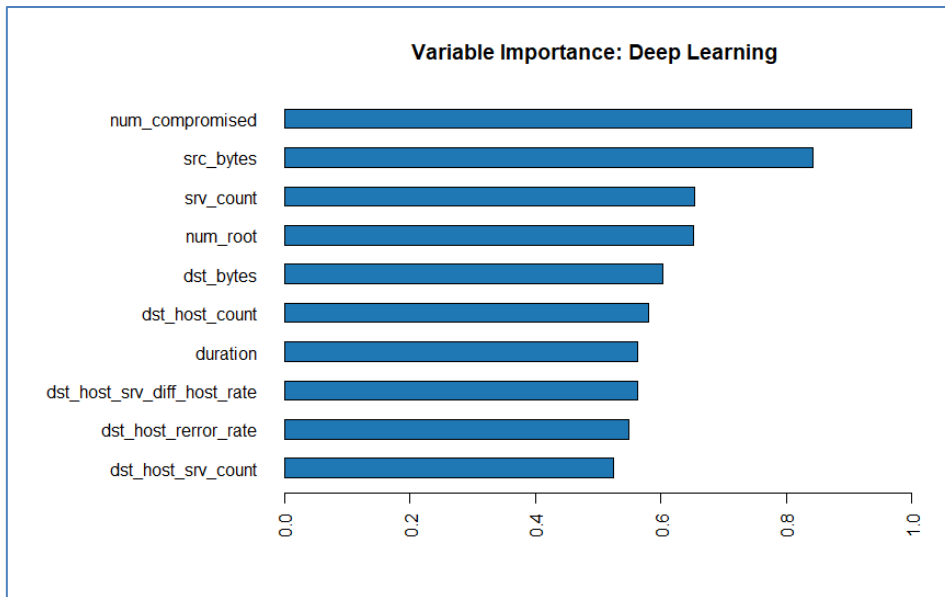


Figure 6. Feature Importance rank from Deep Learning Model

Table 4. Comparison of the Classical Machine Learning Algorithms.

Algorithm	Accuracy (%)	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-measure	ROC area	Time (second)
<b>J48 on original dataset</b>	99.491	0.995	0.004	0.995	0.995	0.995	0.997	2.64
<b>J48 on CFS subset</b>	99.484	0.995	0.004	0.995	0.995	0.995	0.998	0.44
<b>J48 on Gini subset</b>	99.428	0.994	0.004	0.994	0.994	0.994	0.997	0.81
<b>RF on original dataset</b>	99.753	0.998	0.002	0.997	0.998	0.997	1.000	9.92
<b>RF on CFS subset</b>	<b>99.972</b>	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	<b>1.34</b>
<b>RF on Gini subset</b>	99.734	0.997	0.002	0.997	0.997	0.997	1.000	5.01

Firstly, developed J48 DT and RF algorithms have been applied to the NSL-KDD dataset. Then the models have been applied on the train set and then tested. After classification, TP rate, FP rate, precision, recall, F-measure and ROC area have been calculated. Another parameter Time was recorded in seconds during the classification for using in comparison. Comparisons of the results of classical algorithms are tabulated in Table 4.

After classical machine learning algorithms, proposed deep learning algorithm has been applied on NSL-KDD dataset. The results obtained from developed model is presented in Table 5.

Comparison of developed deep learning model and classical machine learning algorithms results for NSL-KDD dataset are presented in Table 6. Accuracy is used as parameter for comparison and the original dataset accuracy values are selected for J48 DT and RF from Table 4.

Table 5. Result of DNN model

Classification Model	Train Accuracy (%)	Test Accuracy (%)
<b>Deep Learning Model</b>	99.71%	99.64%

Table 6. Comparison of developed deep learning model and classical machine learning algorithms results for original NSL-KDD dataset

Algorithm	Accuracy (%)
<b>J48 on original dataset</b>	99.49
<b>RF on original dataset</b>	99.75
<b>Deep learning model on original dataset</b>	99.64

### 3.2. Discussion

The results are presented as an average for each attack class. When the algorithm performance was examined, the highest accuracy rate was obtained from the Random Forest algorithm applied on subset selected by CFS method with 99.972% accuracy. The second highest result obtained was by the Random Forest algorithm being applied on the original dataset, with an accuracy of 99.753%. The lowest accuracy rate was 99.428% obtained from the J48 Decision Tree algorithm being applied on 15 variables, which decreased with Gini index. The results of other determined comparison parameters are quite similar. However, in terms of processing time, the Random Forest algorithm applied on the CFS dataset was completed in a much shorter time- in 1.34 seconds- than the other Random Forest classification models.

According to the deep learning model classification results, it is found that model gives the accuracy of 99.71% and 99.64% values for training and test datasets, respectively. The negligible difference between train and test classification result is important for excluding overfitting. It is shown that, deep learning algorithm gives high accuracy rate even though any feature selection method wasn't applied on dataset. The most important reason for this, deep learning model select the most relevant features by changing the weights of variables during the training. In comparison of deep learning and classical machine learning algorithms, it can be considered as deep learning algorithm can be more efficient in big data problems with high interrelated and complex features. One of the future works can be done is using GPU acceleration to reduce the training time of the developed deep learning model and working for a deep learning based real-time NIDS system.

Based on the results, it was determined that Random Forest algorithm applied on variable subset determined by CFS method performed the best. Also, the classification algorithms applied over the reduced number of features resulted in much shorter processing time. The classification of Decision Trees on only one sample limits the reliability of the constructed model. On the other hand, Random Forest algorithm is used to evaluate the results of many decision trees, therefore, it is thought that more reliable prediction can be made with Random Forest algorithm. In addition, using the Random Forest predictions of all decision trees provided a better generalization. However, it was found that the processing times for both classification algorithms applied on the reduced number of variables were quite short. For this reason, it is important to work with a small number of variables- especially when considering the time complexity- in high dimension datasets. Hence, it can be concluded that RF is the best classification algorithm among the classification algorithms including J48 DT and DNN for NSL-KDD dataset in this study.

### 4. Conclusions and Recommendations

Network intrusion detection systems has a vital importance today because of huge data flow traffic. One of the most important study of today is preventing the cyber attacks. NIDS (Network Intrusion Detection System) is the main security solutions that supports today's military applications, social systems, social networks, cloud services and other critical applications. NIDS automatically monitors network

traffic to detect malicious activity and policy violations. The machine learning algorithms can be used for NIDS.

In this study, deep learning algorithm and classical machine learning algorithms' performances are compared for classification of NSL-KDD dataset. The classification model was applied on the original dataset consisting of 41 variables and then on the decreased variables by the Gini index and CFS methods, and the algorithm performances were compared in terms of determined parameters. It is shown that, the Random Forrest algorithm is more successful in general than compared algorithms including J48 DT and deep learning. It is considered that attack information related to network traffic that were gathered during the preprocessing of the dataset - such as the most common types of attacks, attack types according to the protocols - are also very important factors to consider while guiding the measures taken by network administrators against intrusion. Furthermore, important features determined by the feature selection methods in this study can provide information to the network administrators about critical variables that they need to monitor for preventing and detecting attacks.

### References

- [1] Yan, J., Jin, D., Lee, C. W., & Liu, P. (2018, July). A Comparative Study of Off-Line Deep Learning Based Network Intrusion Detection. In 2018 Tenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN) (pp. 299-304).
- [2] Horng, S. J., Su, M. Y., Chen, Y. H., Kao, T. W., Chen, R. J., Lai, J. L., & Perkasa, C. D. (2011). A novel intrusion detection system based on hierarchical clustering and support vector machines. *Expert systems with Applications*, 38(1), 306-313.
- [3] Lin, S. W., Ying, K. C., Lee, C. Y., & Lee, Z. J. (2012). An intelligent algorithm with feature selection and decision rules applied to anomaly intrusion detection. *Applied Soft Computing*, 12(10), 3285-3290.
- [4] Tavallaee, M., Bagheri, E., Lu, W., & Ghorbani, A. A. (2009, July). A detailed analysis of the KDD CUP 99 dataset. In *Computational Intelligence for Security and Defense Applications, 2009. CISDA 2009. IEEE Symposium on* (pp. 1-6).
- [5] Olusola, A. A., Oladele, A. S., & Abosede, D. O. (2010, October). Analysis of KDD'99 intrusion detection dataset for selection of relevance features. In *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science* (Vol. 1, pp. 20-22).
- [6] Özgür, A., & Erdem, H. (2016). A review of KDD99 dataset usage in intrusion detection and machine learning between 2010 and 2015. *PeerJ PrePrints*, 4, e1954v1.
- [7] Aljawarneh, S., Aldwairi, M., & Yassein, M. B. (2018). Anomaly-based intrusion detection system through feature selection analysis and building hybrid efficient model. *Journal of Computational Science*, 25, 152-160.
- [8] Shone, N., Ngoc, T. N., Phai, V. D., & Shi, Q. (2018). A deep learning approach to network intrusion detection. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 2(1), 41-50.
- [9] Yin, C., Zhu, Y., Fei, J., & He, X. (2017). A deep learning approach for intrusion detection using recurrent neural networks. *Ieee Access*, 5, 21954-21961.

- [10] Xin, Y., Kong, L., Liu, Z., Chen, Y., Li, Y., Zhu, H.,... & Wang, C. (2018). Machine Learning and Deep Learning Methods for Cybersecurity. *IEEE Access*, 6, 35365-35381.
- [11] George, A. (2012). Anomaly detection based on machine learning: dimensionality reduction using PCA and classification using SVM. *International Journal of Computer Applications*, 47(21).
- [12] Neethu, B. (2012). Classification of intrusion detection dataset using machine learning approaches. *International Journal of Electronics and Computer Science Engineering*, 1(3), 1044-1051.
- [13] Revathi, S., & Malathi, A. (2013). A detailed analysis on NSL-KDD dataset using various machine learning techniques for intrusion detection. *International Journal of Engineering Research and Technology*. ESRSA Publications.
- [14] Siddiqui, M. K., & Naahid, S. (2013). Analysis of KDD CUP 99 dataset using clustering based data mining. *International Journal of Database Theory and Application*, 6(5), 23-34.
- [15] Shrivastava, A. K., & Dewangan, A. K. (2014). An ensemble model for classification of attacks with feature selection based on KDD99 and NSL-KDD dataset. *International Journal of Computer Applications*, 99(15), 8-13.
- [16] Al-Jarrah, O. Y., Siddiqui, A., Elsalamouny, M., Yoo, P. D., Muhaidat, S., & Kim, K. (2014, June). Machine-learning-based feature selection techniques for large-scale network intrusion detection. In *Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW)*, 2014 IEEE 34th International Conference on (pp. 177-181).
- [17] Hasan, M. A. M., Nasser, M., Pal, B., & Ahmad, S. (2014). Support vector machine and random forest modeling for intrusion detection system (IDS). *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 6(01), 45.
- [18] Dhanabal, L., & Shanthyrajah, S. P. (2015). A study on NSL-KDD dataset for intrusion detection system based on classification algorithms. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 4(6), 446-452.
- [19] Farnaaz, N., & Jabbar, M. A. (2016). Random forest modeling for network intrusion detection system. *Procedia Computer Science*, 89, 213-217.
- [20] Javaid, A., Niyaz, Q., Sun, W., & Alam, M. (2016, May). A deep learning approach for network intrusion detection system. In *Proceedings of the 9th EAI International Conference on Bio-inspired Information and Communications Technologies (formerly BIONETICS)* (pp. 21-26).
- [21] Tang, T. A., Mhamdi, L., McLernon, D., Zaidi, S. A. R., & Ghogho, M. (2016, October). Deep learning approach for network intrusion detection in software defined networking. In *2016 International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM)* (pp. 258-263).
- [22] Biswas, S. K. (2018). Intrusion Detection Using Machine Learning: A Comparison Study, *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 118(19), 101-114.
- [23] Özgür, A., & Erdem, H. (2018). Saldırı tespit sistemlerinde genetik algoritma kullanarak nitelik seçimi ve çoklu sınıflandırıcı füzyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(1).
- [24] Gurung, S., Ghose, M. K., & Subedi, A. (2019). Deep learning approach on network intrusion detection system using NSL-KDD dataset. *International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS)*, 11(3), 8-14.
- [25] Kumar, V., Chauhan, H., & Panwar, D. (2013). K-means clustering approach to analyze NSL-KDD intrusion detection dataset. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*.
- [26] Kaushik, S. S., & Deshmukh, P. R. (2011). Detection of attacks in an intrusion detection system. *International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT)*, 2(3), 982-986.
- [27] Meng, Y. X. (2011, July). The practice on using machine learning for network anomaly intrusion detection. In *Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*, 2011 International Conference on (Vol. 2, pp. 576-581).
- [28] Pushpalatha, K. R., & Karegowda, A. G. (2017, December). CFS Based Feature Subset Selection for Enhancing Classification of Similar Looking Food Grains-A Filter Approach. In *2017 2nd International Conference On Emerging Computation and Information Technologies (ICECIT)* (pp. 1-6).
- [29] Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
- [30] Archer, K. J., & Kimes, R. V. (2008). Empirical characterization of random forest variable importance measures. *Computational Statistics & Data Analysis*, 52(4), 2249-2260.
- [31] Calle, M. L., & Urrea, V. (2010). Letter to the editor: stability of random forest importance measures. *Briefings in bioinformatics*, 12(1), 86-89.
- [32] Akman, M., Genç, Y., & Ankarali, H. (2011). Random forests yöntemi ve sağlık alanında bir uygulama. *Türkiye Klinikleri Journal of Biostatistics*, 3(1), 36-48.
- [33] Kawakubo, H., & Yoshida, H. (2012). Rapid feature selection based on random forests for high-dimensional data. *Expert Syst Appl*, 40, 6241-6252.
- [34] Lantz, B. *Machine Learning With R*. Packt Publishing Ltd, Birmingham, 2013.
- [35] Deng, Li & Yu, Dong. (2013). *Deep Learning: Methods and Applications*. Foundations and Trends in Signal Processing. 7. 10.1561/20000000039.
- [36] Bengio, Y. (2009). Learning Deep Architectures for AI. *Foundations*. 2. 1-55. 10.1561/22000000006.
- [37] Hinton, Geoffrey & Deng, Li & Yu, Dong & Dahl, George & Mohamed, Abdel-rahman & Jaitly, Navdeep & Senior, Andrew & Vanhoucke, Vincent & Nguyen, Phuongtrang & Sainath, Tara & Kingsbury, Brian. (2012). Deep Neural Networks for Acoustic Modeling in Speech Recognition: The Shared Views of Four Research Groups. *Signal Processing Magazine, IEEE*. 29. 82-97. 10.1109/MSP.2012.2205597.



# Kullanılmış Kahve Telvesinin Lif Kaynağı Olarak Değerlendirilme Potansiyeli

Tuğçe Boğa<sup>1\*</sup>, Enes Dertli<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Maltepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2539-4176), tugceboga@maltepe.edu.tr

<sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0421-6103), edertli@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 22 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.909736)

**ATIF/REFERENCE:** Boğa, T. & Dertli, E. (2021). Kullanılmış Kahve Telvesinin Lif Kaynağı Olarak Değerlendirilme Potansiyeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 114-120.

## Öz

Tarih boyunca insanları ustaca bir araya getiren kahve insanların severek tükettiği bir içecek olarak günümüze gelmiştir. Kahve, oldukça zahmetli birçok işlem sonucu üretilmektedir ve dünyada atık yönetimi konusunda gelişen bilinç neticesinde kahve endüstrisi atıkları da günümüzde yeniden kazanılmaya çalışılmaktadır. Bunun sonucu olarak kahve çekirdeği zarı, cascara ve kullanılmış kahve telvesi gibi yan ürünler değerlendirilmeye çalışılmakta ve bu konuda giderek artan sayıda çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, kahve endüstrisi atığı olan kullanılmış kahve telvesinin diyet lifi olarak kullanılma potansiyeli incelenmiştir. Dünyada her gün yaklaşık 2.5 milyar fincan kahve tüketildiği ve her bir fincan kahve için ortalama 11 g taze kahve kullanıldığı düşünülerek her yıl yaklaşık 500 bin ton atık kahve telvesi oluştuğu düşünülmektedir. Bu kadar büyük ve değerli bir atığın tekrar değerlendirilmesi gıda endüstrisi açısından oldukça büyük bir önem arz etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kahve, kullanılmış kahve telvesi, diyet lifi, Arabica.

## Spent Coffee Grounds As A Potential Fiber Source

### Abstract

Coffee brought people together throughout history, and today, people still consume coffee willingly. Coffee production includes many laborious processes that results in the formation of some waste materials. As a result of the awareness about waste management, coffee industry wastes are now target for the recovery process around the world. Therefore, coffee byproducts such as coffee silverskin, cascara, and spent coffee grounds are tried to be recycled, and an increasing number of studies have been carried out on this subject. In this study, the potential of role of spent coffee grounds as dietary fiber was discussed. Spent coffee grounds are wastes from both the coffee industry and domestic coffee consumption. In the world, approximately 2.5 billion cups of coffee are consumed every day. For every cup of coffee, about 11 g of fresh coffee is used. So it is thought these numbers, around 500 thousand tons of waste coffee grounds are produced every year. Recycling such a large and valuable waste has great importance for the food industry.

**Keywords:** Coffee, spent coffee grounds, dietary fiber, Arabica

\* Sorumlu Yazar: [tugceboga@maltepe.edu.tr](mailto:tugceboga@maltepe.edu.tr)



## 1. Giriş

O zamanki adıyla Habeşistan olarak bilinen Etiyopya'da, M.S. 700-800 yıllarında keşfedildiği düşünülen kahve, *Rubiaceae* (kökboyasıgiller) ailesinin *Coffea* cinsine aittir. Arabica ve Robusta adıyla bilinen *Coffea arabica* L. ve *Coffea canephora* Pierre adlı iki kahve türü, uluslararası kahve ticareti açısından daha önemli görülmektedir. Dünyadaki kahve üretimi %65-70 oranında *Coffea arabica* L. çekirdeklerinden gerçekleştirilmektedir. Bu iki türün yanı sıra ekonomik değeri olmayan *C. liberica* ve *C. stenophylla* türlerinin üretimi de yapılmaktadır ancak dünyadaki üretimin %98'ini Arabica ve Robusta çekirdekleri karşılamaktadır (Alves ve ark., 2017; Girginol, 2018; Herrera & Lambot, 2017).

Kahve, Ekvator'un 23° 27' kuzey enlemi (yengeç dönencesi) ile 23° 27' güney enlemi (oğlak dönencesi) arasında kalan ve kahve kemeri (*the coffee bean belt*) olarak adlandırılan alanda yetiştirilmektedir (Asilsoy, 2021). Kahve yetiştiriciliği genellikle küçük ölçekli aile çiftliklerinde yapıyorsa da Brezilya'nın en büyük kahve üretici eyaleti Minas Gerais'de Cerrado Mineiro adlı bölgede, büyük ölçekli kahve çiftlikleri bulunmakta ve bu çiftlikler, üretim ve verimlilik üzerine odaklanarak profesyonel olarak yönetilmektedir. Dünya kahve tedarikinin %70'i Brezilya, Vietnam, Kolombiya ve Endonezya olmak üzere dört ülkeden sağlanmaktadır. (Vegro & de Almeida, 2020).

Uluslararası Kahve Organizasyonu (ICO)'nun raporunda yıllara göre kahve üretiminin giderek artan bir eğilim gösterdiği görülmektedir (Anonim, 2020a). Kahve üretimi gibi tüketiminin de yıllar içinde artışı söz konusudur. Yine Uluslararası Kahve Organizasyonu 2020 yılının Kasım ayında, ülkelere göre kahve tüketim miktarı raporu yayınlamıştır. Rapora göre kahve ihraç eden ülkeler arasında en çok kahve tüketen ülkenin 21.225 bin-60 kg çuval ile Brezilya olduğu, kahve ithal eden ülkeler arasında ise 42.671 bin-60 kg çuval ile Avrupa Birliği ülkeleri olduğu bildirilmiştir. Raporda, dünya genelinde kahve tüketiminin 2016/2017 ve 2019/2020 dönemleri arasında %1.8 oranında arttığı yer almaktadır. (Anonim, 2020b).

Kahve meyvesi, beş koruyucu tabakadan oluşmaktadır ve kahve çekirdeğinin elde edilmesi sırasında bu tabakalar ayrıştırılarak uzaklaştırılmaktadır. Bunlar içeriden dışarıya doğru sırasıyla şöyledir: eliptik formda iki çekirdek, kahve çekirdeği zarı, parşömen tabaka (endokarp), pulp tabaka (mezokarp), sert dış kabuk (perikarp) (Girginol, 2018).

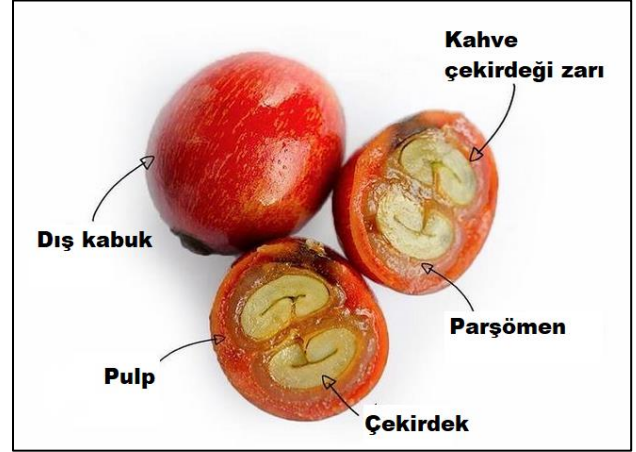
Kahve türüne göre değişiklik göstermekle birlikte kahve çekirdeklerinin bileşiminin yaklaşık olarak yarısında polisakkaritler, %13'ünde proteinler ve %12'sinde ise yağlar bulunmaktadır. Bunların dışında çeşitli mineraller, kafein ve alifatik asitler bulunmaktadır (Alves ve ark., 2017).

Kahvenin içinde 1000'den fazla kimyasal bileşen bulunmaktadır. Kahvedeki temel değişkenler; kahve bitkisinin botanik özellikleri, büyümesi ve yetiştirilmesi, lezzeti, fizyolojisi, çiğ ve kavrulmuş haldeki özellikleri olarak sıralanabilir (Girginol, 2018).

Bileşiminde yüksek miktarda bulunan lif ve kafein gibi diğer bileşikler sayesinde kahvenin antioksidan kapasitesi

oldukça yüksektir. Bu nedenle kalp sağlığı üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır. Yüksek miktarda lif almanın önemli ölçüde kalp sağlığını olumlu etkilediği ve diyabet, obezite, hipertansiyon gibi hastalıkları engellediği bilinmektedir (Salazar-López ve ark., 2020).

Şekil 1: Kahve meyvesi kesiti (Anonim, 2021)



## 2. Kahvenin Sağlık Üzerine Etkisi

Tüm dünyada alkolsüz içki tüketiminin %75'ini oluşturan kahvenin insan sağlığına etkisinin incelenmesi özellikle son yıllarda oldukça ilgi çekici bir konu haline gelmiştir. Aşırı kahve tüketimiyle ilişkili anksiyete, uykusuzluk, hipertansiyon gibi riskler nedeniyle kahvenin sık tüketilmesi tavsiye edilmemektedir. Ancak kahvenin biyolojik özellikleri ve içerdiği fitokimyasallar hakkında edinilen yeni bilgiler ile kahvenin insan sağlığına olan faydalarının olumsuz etkilerine göre daha fazla olduğu belirtilmiştir (Ciaramelli, ve ark., 2019; Higdon & Frei, 2006).

Kahvenin sağlık üzerindeki etkisinin başlıca nedenlerinden biri antioksidan kapasitesidir. Antioksidan kapasite, kahvedeki fenolik asitler, kafein ve kavurma sırasında oluşan bazı diğer bileşiklerden ileri gelmektedir (Alves ve ark., 2017). Yapılan bir çalışmada, Arabica ve Robusta kahve çeşitleri üç farklı kavurma derecesinde ekstrakte edilmiş ve antioksidan kapasiteleri incelenmiştir. Antioksidan özellikler bakımından yeşil çekirdekler incelendiğinde Robusta'da Arabica'ya göre daha fazla kafein ve klorojenik asit bulunması nedeniyle, Robusta'nın antioksidan özelliklerinin daha fazla olduğu saptanmıştır. Kavrulmuş kahvelerde ise kavurma ile oluşan melanoidin sebebiyle antioksidan özelliklerin benzer olduğu belirtilmiştir (Turnbull ve ark., 2017). Başka bir çalışmada ise farklı bölgelerden Arabica ve Robusta kahve çekirdeklerinde toplam fenol madde içeriği ve antioksidan kapasite karşılaştırılmıştır. Yeşil kahve çekirdeklerinin antioksidan kapasitesinin kavurulmuş kahve çekirdeklerine göre düşük olduğu belirtilmiştir (Pérez-Burillo ve ark., 2019).

Amerikan Kimya Derneği (American Chemical Society) raporunda, farklı kavurma derecelerindeki kahve çekirdeklerinin antioksidan bileşiklerin miktarları belirlenmiştir. Kafeoilkinik asitler (CQA), kahvedeki fenolik fraksiyonun ana bileşenleridir ve bunların sağlık üzerine olumlu etkileri olduğu bilinmektedir. Örneğin, sağlıklı gönüllü kişilerde plazmanın toplam antioksidan kapasitesinin sade kahve tüketiminden kısa bir süre sonra arttığı

saptanmıştır. Sağlıklı gönüllülerden alınan kan örneklerinin 200 ml sütsüz ve şekersiz kahve tüketiminden 2 saat sonra plazma antioksidan kapasitesinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış (% 7) bildirilmiştir (Fuentes-Barría ve ark., 2018).

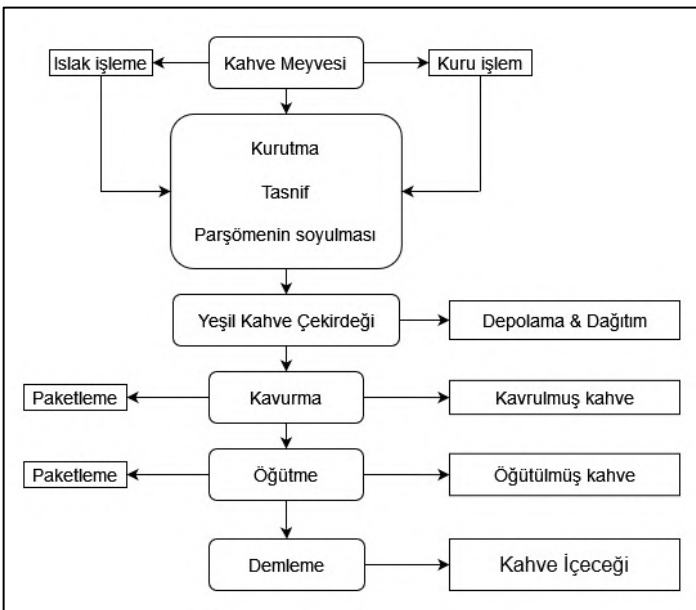
Bekedam ve ark. (2008), yedi farklı bölgenin Arabica çekirdeği ile dört farklı bölgenin Robusta çekirdeklerinin yeşil ve kavrulmuş haldeki toplam fenol içerikleri ve bu bileşiklerin biyoyararlanım oranları saptamıştır. Çalışmada kavrulmuş kahve çekirdeklerinde Robusta'nın Arabica'ya göre daha yüksek fenolik bileşik içeriğine sahip olduğu ancak Arabica kahve çekirdeklerinin % biyoyararlanım oranının Robusta'ya göre daha yüksek olması nedeniyle Arabica çekirdeklerin antioksidan kapasitesinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Yeşil kahve çekirdeklerinde ise fenol bileşiklerin biyoyararlanımı Arabica'ya göre Robusta'da daha yüksek bulunmuştur (Bekedam ve ark., 2008).

Birçok çalışmada kahvenin antibakteriyel, antioksidan, obezite önleyici ve anti-inflamatuar etkileri gösterilmiştir ancak kafein, klorojenik asit ve tanenler gibi bileşiklerin, ekotoksik etki gösterebileceği bildirilmiştir (Janissen & Huynh, 2018).

### 3. Kahve Üretimi

Kahve meyvesinin kahveye işlenmesi, kahvenin tek tek toplama veya dalı sıyırma yöntemleriyle hasat edilmesiyle başlamaktadır. Kabuk ayırma ve ardından kuru veya yaş fermantasyon işleminden sonra çekirdekler boy ve yapılarına göre sınıflandırılır ve genellikle 60 kg'lık çuvallarda paketlenir. Elde edilen çiğ kahve çekirdekleri, istenilen tat ve aromaların oluşması için kavrulma işlemine tabi tutulmaktadır. Kavurma işlemi tambur ısıtmalı sistemde ve hava ısıtmalı sistemde gerçekleştirilmektedir. Kavrulmuş çekirdekler yapılacak kahveye göre uygun boyutlarda öğütülür ve demlenerek veya sıcak su ekstraksiyonu ile hazır kahve üretiminde kullanılır (Martínez Sáez & Castillo, 2019). Kahve meyvesinden bir fincan kahve içeceğine kadar olan işlem basamakları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kahve meyvesinden kahve içeceğine işlem basamakları



Kahve, kavurma işlemiyle 250-300 °C'ye kadar çıkabilen yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Kahvede Maillard reaksiyonu sonucu oluşabilecek akrilamidin yanı sıra, yüksek sıcaklıktan kaynaklanabilecek farklı potansiyel reaksiyonlar sonucu akrilamid oluşabileceği düşünülmektedir ancak akrilamidin kahvedeki oluşum mekanizmasını açıklayacak araştırmaların sayısı kısıtlıdır (Anese ve ark., 2014). Akrilamid her ne kadar kahvelerin kavurma işlemi sırasında oluşuyor olsa da kavurma işleminin devamında akrilamidin büyük bir kısmının parçalandığı düşünülmektedir. Bu nedenle az kavurulmuş kahve çekirdeklerine kıyasla çok kavurulmuş kahve çekirdeklerinde akrilamid miktarının daha düşük olabileceği belirtilmektedir (Guenther ve ark., 2007). Ayrıca kavurma işleminin düşük basınç altında gerçekleştirilmesiyle akrilamid miktarının %50'ye kadar azaltılabileceği tespit edilmiştir (Anese ve ark., 2014).

Bir çalışmada, dört farklı hazırlama tekniği (Türk kahvesi, French Press ile yapılan kahve, filtre kahve ve espresso) ile altı adet birbirinden farklı olan kavurulmuş kahve örneklerindeki akrilamid miktarı saptanmıştır. Kahve örneklerindeki akrilamid miktarları; Türk kahvesinde 4.10 µg/100 ml, French Press ile yapılan kahvede 3.19 µg/100 ml, filtre kahvede 2.95 µg/100 ml ve espressoda 2.13 µg/100 ml olarak bulunmuştur. Espresso her ne kadar diğerlerine göre daha yoğun bir kahve olsa da akrilamid miktarı daha düşüktür ve bu durumun ekstraksiyon (kahve ve suyun teması) süresinin kısa olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Çalışmada, kahve demleme yönteminin akrilamid miktarı üzerinde önemli bir etkisi bulunduğu belirtilmiştir (Michalak ve ark., 2020).

Kahvenin işlenmesi sırasında kahve meyvesinin yaklaşık %90'ı yan ürün veya tarımsal atık olarak uzaklaştırılmaktadır ancak kahve meyvesinde sağlığı olumlu etkileyen fitokimyasallar ve besin maddeleri bulunmaktadır. Kahve endüstrisinin besince zengin yan ürünlerinin, gıda endüstrisinde potansiyel olarak fonksiyonel bileşenler olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca atık değerlendirme konusundaki bilinç arttıkça kullanılmış kahve telvesi veya kahve çekirdeği zarı gibi kahve endüstrisinin yan ürünlerinin sağlık üzerindeki etkileriyle ilgili çalışmalar yapılmıştır (Vázquez-Sánchez ve ark., 2018; Salazar-López ve ark., 2020; Gemechu, 2020).

### 4. Kahve Üretiminin Yan Ürünleri

Kahveler toplandıktan sonra veya kavurma işlemi ve kahve tüketimi sonucunda olgunlaşmamış kahve çekirdekleri, kahve meyvesinin çeşitli kabuk katmanları ve kullanılmış kahve telvesi (KKT) gibi çeşitli yan ürünler oluşmaktadır. Kahve çekirdeğini saran pulp, müsilaj ve parşömen tabakası kuru ağırlık bazında meyvenin %12'sini oluşturmaktadır. Bu tabakada proteinler (%8-11), karbonhidratlar (%58-85), yağlar (%0.5-3), mineraller (%3-7), indirgen şekerler (%14), kafein (~%1) ve tanenler (~%5) bulunmaktadır (Alves ve ark., 2017).

Kahve çekirdeği zarı, kahve çekirdeğiyle direkt temas eden ince bir tabakadır ve kavurma işlemi ile çekirdekten ayrılabilir. Her 120 ton kavurulmuş kahveden 1 ton kahve çekirdeği zarı üretilmektedir ve kahve tüketiminin giderek arttığı düşünüldüğünde kahve çekirdeği zarı, değerlendirilmek üzere büyük bir potansiyel sunmaktadır. Kahve çekirdeği zarı, protein ve diyet lifi (özellikle de çözünür diyet lifi) açısından zengin bir üründür. Ayrıca kavurma sırasında Maillard reaksiyonları sonucu oluşan melanoidinler ve fenolik bileşikler nedeniyle antioksidan aktivite gösteren bu yan ürünün, gıda endüstrisinde

fonksiyonel bir bileşen olarak kullanılmasına dair çalışmalar yapılmaktadır (Ballesteros ve ark., 2014; Costa ve ark., 2014).

Müslümanlar, 1100 yıl önce kahve tüccarlarının Kızıldeniz'den Arabistan'a getirdiği kahve meyvesinden fermente bir içecek yapmış ve bu içeceğe *qishr* adını vermişlerdir. *Qishr*, günümüzde baharatlı kahve kabukları, zencefil ve tarçından yapılan, demleme bir içecek olarak bilinmektedir ve Yemen'de kahveden daha fazla tüketilmektedir. Bundan 10 yıl önce, El Salvador'da kahve yetiştiren Aida Batlle isimli çiftçi ise kahve meyvesinin kurutulmasıyla yapılan bu içeceğe, İspanyolca kabuk anlamına gelen *casacara* kelimesinden yola çıkarak "*casacara* çayı" adını vermiştir. *Cascarayı* kurutup öğütürerek ince pul halinde ve çay gibi bir demleme poşeti içinde hazırlayan Aida Batlle, *casacaranın* meyvemsi bir tadı olduğunu belirtmektedir (Castillo ve ark., 2017). Yapılan bir çalışmada, glutensiz ekmek formülasyonuna *casacara* eklenerek yapılan ekmeklerin fizikokimyasal, besinsel ve duyuşsal özellikleri incelenmiştir. Çalışmada, ekmeklere %3 ve %4.5 oranlarında *casacara* eklenmiştir ve *casacara* eklenmiş ekmeklerde daha düşük kabuk sertliği ve daha yüksek kabuk elastikiyeti görülmüştür. Diyet lifçe zengin ve protein oranı yüksek yeni ekmeklerin duyuşsal özelliklerinin pozitif etkilendiği ve raf ömürlerinin kontrol ekmeklerine göre daha yüksek olduğu saptanmıştır (Rios ve ark., 2020).

Kurutulmuş kahve meyvesi kabuğu Batılı toplumlarda ilgi çekmeye başlamış ve Bai Brand ve KonaRed adlı iki firma bu ürünle ticari olarak içecekler üretmektedir. Bai, içeceklerinde kullandığı kuru meyve kabuğunu, içerdiği antioksidan bileşikler ve kafein nedeniyle "süper meyve özü" olarak adlandırmaktadır. KonaRed ise kahve meyvesi kabuğunu kullanarak bir meyve suyu üretmektedir. Bu meyve suyunun, kahve meyvesindeki çeşitli besin öğeleri ile birlikte klorojenik asit, kinik asit ve ferulik asit gibi polifenollerini içerdiği belirtilmektedir (<https://www.konared.com/>; <https://www.drinkbai.com/>).

Kullanılmış kahve çekirdeği telvesi (KKT) ise hem evlerdeki kahve tüketimi sonucunda hem de endüstriyel olarak, hazır (instant – granül) kahve üretimi için gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemi sonucunda oluşan bir yan üründür. Ballesteros ve ark. (2014), Arabica ve Robusta kahve çekirdekleri karışımından elde edilen kullanılmış kahve telvelerinin besinsel içeriklerini analiz etmiş ve telvedeki kül içeriğinin %1.3 oranında olduğu ve baskın elementin potasyum olduğunu saptamıştır (Ballesteros ve ark., 2014). KKT direkt olarak ekmek, kurabiye, kahvaltılık gevrekler gibi pastacılık ve şekerleme ürünlerinde kullanılabilir. KKT'nin hipokalorik tatlandırıcı (stevia) ve çözünür lif (FOS) gibi yenilikçi bileşenlerle değişen oranlarda kullanıldığı formülasyonlar geliştirilmiş ve yaş bazda %4 oranında KKT'nin kurabiye gibi katı gıda ürünlerinde gıda hazırlama yöntemini ve ürünün son kalite özelliklerini etkilemeden kullanılabilmesi belirtilmiştir. Geliştirilen yeni kurabiyede, akrilamid, hidroksimetilfurfural ve glikasyon son ürünleri gibi Maillard reaksiyon ürünlerinin miktarının düşük olduğu, bu nedenle kısıtlı enerji alımı olan ve/veya diğer özel gereksinimleri olan kişiler tarafından tüketilebileceği belirtilmiştir (Castillo ve ark., 2017).

Kahve çekirdeği zarında ve kullanılmış kahve telvesinde, meyvenin etli kısmı ve kabuğuna göre daha fazla diyet lifi olduğu bilinmektedir. Ayrıca yüksek diyet lif içeriği yüksek su tutuma kapasitesi demek olduğundan, kahve çekirdeklerinin gübre uygulamalarının da faydalı olabileceği düşünülmektedir (Janissen & Huynh, 2018).

Bir çalışmada, çiğ kahve çekirdek kabuğu (parchment), çekirdek mezokarpı (husk, pulp) ve Arabica kahve çekirdeği zarı (silverskin) toksisiteyi farelerde incelenmiş ve 2000 g/kg vücut ağırlığı akut dozun belirli bir toksik etkiye sebep olmadığı görülmüştür. Kahve endüstrisi yan atıklarının güvenli ve sağlığa faydalı gıda bileşenleri olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir (Iriundo-DeHond ve ark., 2019).

Kahve atıklarının içecek endüstrisinde kullanımının nadir olduğu görülmektedir. Yapılan bir çalışmada, kahve çekirdeği zarı ekstraktının (CSE) *in vitro* ortamda pankreatik lipaz enzimi aktivitesini önemli ölçüde engellediği saptanmıştır ve CSE içeceklerinin yağ birikmesini engelleyebileceği düşünülmektedir (Martínez Sáez & Castillo, 2019).

## 5. Kullanılmış Kahve Telvesi (KKT)

Yaklaşık 1 ton yeşil kahveden 650 kg atık kahve telvesi oluşmaktadır ve bu miktar yıllık 6 milyon ton civarındadır. İçinde bulunan lif, aminoasitler, polifenoller, doymuş yağ asitleri gibi bileşenler nedeniyle atık kahve telvesi son yıllarda oldukça dikkat çekmektedir. Çok miktarda diyet lifi içeren KKT'de %54 oranında çözünmeyen diyet lifi ve yaklaşık % 6 oranında dirençli nişasta bulunmaktadır. Kavurma işlemi sonrasında kahve çekirdeği, melanoidin, fenolik bileşikler ve diyet lifi açısından oldukça zengindir (Salazar-López ve ark., 2020).

Kullanılmış kahve telvesi direkt olarak doğal diyet lifi kaynağı olarak kullanılabilir. Ancak ohmik ısıtma, alkalik hidrojen peroksit muamelesi ve otohizoliz gibi farklı işlemler kullanılarak ham maddeden de çıkarılabilir. Kahve liflerinin antioksidan aktivitesi bu işlemlerle muameleden sonra da devam edebilmektedir. KKT'nin bağırsak fermantasyonu ile oluşan metabolitler, nitrik oksit üretimini ve inflamatuvar aracı olan bazı sitokinlerin üretimini engelleyerek güçlü bir anti-inflamatuvar etki göstermektedir. Ayrıca kahve diyet liflerinin tokluk hormonu, serotonin ve glukagon benzeri peptid-1 (GLP-1) salınımını uyardığı saptanmıştır. Ek olarak, KKT'lerden otohizoliz yoluyla ekstrakte edilen antioksidan polisakkaritlerin, prebiyotikler gibi diğer biyoaktif gıda bileşenlerinin enkapsülasyonunda kullanılabilmesi belirtilmiştir (Ballesteros ve ark., 2017).

Diyet lifi yüksek ürünler,  $\alpha$ -glikozidaz enzimini inhibe ederek glisemik cevabı modüle etmektedir. Kullanılmış kahve çekirdeklerinin antioksidan diyet liflerinde (KKTAL) bulunan kateşin, gallik asit, kafeik asit gibi bileşenlerin,  $\alpha$ -glikozidaz enzimini aktivitesini azalttığı bilinmektedir. KKTAL'nin antidiyabetik potansiyelini inceleyen bir çalışmada, KKTAL ile zenginleştirilmiş bisküvilerin biyoyararlanırlığı *in vitro* modelde incelenmiştir. Geleneksel bisküvinin yanında porsiyon başına 3 g ve 5 g KKTAL katkılı bisküviler hazırlanmıştır. 30 g porsiyon başına 5 g KKTAL ile zenginleştirilmiş bisküvilerin, geleneksel bisküvi ile benzer fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasite düzeyine sahip olduğu; ancak KKTAL katkılı bisküvilerin geleneksel reçeteye göre %12 daha fazla protein içerdiği ve %40 daha fazla  $\alpha$ -glikozidaz inhibisyonu aktivitesi olduğu görülmüştür. Ayrıca bu örneğin %7 daha düşük enerji içeriğine sahip olduğu ve Maillard reaksiyon ürünlerinden fruktozaminin %89 daha yüksek, toplam ileri glikasyon son ürün (AGEs) içeriğinin ise %74 daha düşük olduğu görülmüştür. Örnekler arasında 5 g KKTAL içeren bisküvi örneğinin  $\alpha$ -glikozidaz enzimini en çok inhibe eden örnek olduğu, bunun sebebinin ise



kateşin ve askorbik asit biyoyararlanımına bağlı olduğu saptanmıştır (Vázquez-Sánchez ve ark., 2018).

Antioksidan aktivite ve lif kompleksi arasındaki sinerji, bir diyet lifinin tek başına sağladığından daha fazla etki göstermektedir. Demlenmiş kahvede çözünür diyet lifi miktarı 0.75 g/100 ml'ye kadar çıkabilmektedir. Antioksidan diyet lifi içeriği yüksek olan kahvenin toplam lif içeriğinin %16'sını oluşturan çözünmeyen lifler oluşturmaktadır. Atık kahve telvesi ise toplamda %43 oranında lif içermektedir ve bunun %8'i çözünmeyen diyet lifidir. Bu nedenle, KKT'den elde edilen diyet lifi, potansiyel bir antioksidan diyet lifi olarak kategorize edilebilir (Simões ve ark., 2013).

Gıda endüstrisinin yan atıklarından kullanılmış kahve telvesi ve peynir altı suyundan besleyici özellikleri zengin yeni bir gıda bileşeni oluşabileceği düşünülen bir çalışmada, belli miktardaki peynir altı suyuna değişen oranlarda kullanılmış kahve telvesi eklenmiş ve karışım sprey kurutucuda kurutulmuştur. Daha sonra klorojenik asit, HMF, furfural ve yararlanılabilir lizin miktarları belirlenmiştir. Oluşan yeni bileşenin yüksek miktarda polifenol, klorojenik asit ve lizin içerdiği, ayrıca mikrobiyolojik olarak dayanıklı bir ürün olduğu saptanmıştır. Gıda endüstrisi atıkları olan bu iki ürün kombinasyonunun şekerleme, içecek, süt ve süt ürünleri gibi ürünlerin reçetelerinde kullanılabileceği belirtilmiştir (Osorio-Arias ve ark., 2020).

Muffin kek formülasyonuna toplam un miktarının %15'i ve %30'u kadar kullanılmış espresso telvesi (KET) eklenmiş ve tekstürel, duysal, kimyasal özellikleri incelenmiştir. KET eklenmiş muffinlerin hacimleri değişmemekle birlikte

mikroyapısının önemli ölçüde değiştiği, toplam fenolik bileşen miktarının dört kata kadar artabildiği, yüksek diyet lifi içeren bir ürün haline geldiği ve duysal olarak kabul edilebilir düzeylerde olduğu belirtilmiştir. Ayrıca araştırmacılar, yaklaşık 40 g olan bir muffin yendiğinde günlük lif ihtiyacının %12-20 oranında alınabileceğini belirtmiştir (Severini ve ark., 2020).

Sağlıklı kilodaki beş kadın ve beş erkekle yürütülen bir çalışmada, kullanılmış kahve telvesi, fruktooligosakkarit eklenmiş KKT (KKT-FOS) ve KKT'nin antioksidan diyet lifi (KKTAL) katkılı bisküvilerin tüketilmesi sonucu bireylerdeki tokluk seviyesi, enerji alımı ve gastrointestinal tolerans değerleri incelenmiştir. KKTAL katkılı bisküvilerin tokluk algısını önemli derecede arttırdığı, standart bisküviye kıyasla kişilerin yeme isteğini azaltarak enerji alımını etkilediği saptanmıştır. Ayrıca KKTAL'nin midenin boşalmasını yavaşlattığı ve dolayısıyla vücut ağırlığının korunmasında yardımcı olduğu; ayrıca karbonhidrat sindirimini yavaşlatarak yemek sonrası kan şekeri artışını düşürdüğü ve Tip-2 diyabet riskini azalttığı belirtilmiştir (Campos-Vega ve ark., 2020).

Doğal prebiyotikler birçok meyve ve sebze bulunmakta ve süt ürünleri, fırıncılık endüstrilerindeki uygulamalarda duysal özellikleri arttırmaktadır. Kavrulmuş ve kavrulmamış yeşil kahve çekirdekleri kullanılarak oluşturulan prebiyotik oligosakkaritlerle zenginleştirilmiş kurabiyelerde yapılan bir çalışmada, %10 ve %12 oranında kullanılmış yeşil kahve telvesi kullanılan kurabiyelerin besleyici değerinin ve antioksidan aktivitelerin arttığı görülmüştür. Ayrıca bu kurabiyelerin daha yumuşak ve renk açısından daha iyi olduğu saptanmıştır (Desai ve ark., 2020).

Tablo 2. Kullanılmış kahve telvesi ile zenginleştirilen ürünlerde gelişen özellikler

Kahve yan ürünü	Yeni ürün	Gelişen özellik	Kaynak
Kullanılmış Kahve Telvesi (KKT)	Kahve aromalı içecek	-Kahveye ait aroma ve lezzetin yeterli düzeyde bulunması	Sampaio et al., 2013
Kullanılmış Kahve Telvesinin Antioksidan Diyet Lifi (KKTAL)	Bisküvi	5 g KKTAL katkılı bisküvilerde; -%12 daha fazla protein içeriği -%7 daha düşük enerji içeriği - $\alpha$ -glikozidaz enzimi inhibisyonu -Antidiyabetik ürün potansiyeli	Vázquez-Sánchez ve ark., 2018
Kullanılmış Kahve Telvesi (KKT)	Bisküvi	-Tokluk algısında artış -Diyet lifi yüksek ürün -Tip-2 diyabet riskinde azalma	Campos-Vega ve ark., 2020
Kullanılmış Yeşil Kahve Telvesi	Kurabiye	-Antioksidan aktivitede artış -Besleyici değerde artış -Duysal özelliklerde olumlu değişim	Desai ve ark., 2020
Kullanılmış Kahve Telvesi (KKT)	-	-Tahıllarla benzer fitosterol içeriği	kamgang Nzekoue ve ark., 2020
Kullanılmış Kahve Telvesi (KKT)	KKT + PAS*	-Yüksek antioksidan bileşen içeriği	Osorio-Arias ve ark., 2020
Kullanılmış Espresso Telvesi (KET)	Muffin kek	-Toplam fenolik bileşen içeriğinde 4 kat artış -40 g muffin ile % 12-20 günlük lif ihtiyacının karşılanması	Severini ve ark., 2020

\*PAS: Peynir altı suyu

Kullanılmış kahve telvesinin sıklıkla bisküvi ve kurabiye formülasyonlarında kullanılmasının nedeni, KKT'nin

bisküvilerin rengini geliştirmesi ve istenen tipik altın rengini sağlayabilmesidir. Rafine şekerli ürünlerin enzimatik olmayan



esmerleşme reaksiyonlarının kısıtlı olduğu bilinmektedir. Ancak stevia ve kahve çekirdeği zarı ekstraktı (KZE) içeren bisküvilerin renginin, şeker içeren bisküvilere kıyasla önemli bir farklılık göstermediği saptanmış ve bu durum, KZE'nin doğal renklendirici olarak kullanılabilceğini göstermektedir. Ayrıca glutensiz olan kahve diyet liflerinin, glutensiz un üretimi ve yapay tatlandırıcı üretiminde kullanılabilceği ve böylece diyabetik veya fazla kilolu kişilerin besin ihtiyaçlarını karşılamada yardımcı olabileceği düşünülmektedir (Martinez-Saez ve ark., 2017; Martínez Sáez & Castillo, 2019)

Fazla kilolu ve sağlıklı kadın donörlerin bağırsağındaki sindirilmemiş atık kahve telvesi (KKT) fraksiyonlarının incelendiği bir çalışmada, kolon fermantasyonu sırasında fazla kilolu ve sağlıklı bireylere ait mikrobiyotalar arasında, sindirilmemiş KKT fraksiyonlarındaki polifenolik bileşik metabolizmasının ve biyoerişilebilirliğinin farklılık gösterdiği ve böylelikle bunların HT-29 hücrelerine karşı sitotoksitesiyi modüle ettiği gösterilmiştir. Normal kilolu insandaki mikrobiyota tarafından KKT'nin kolonik fermantasyonu ile üretilen metabolitler, esas olarak katalaz ve lipid peroksidasyonu yoluyla oksidatif stresi azaltarak apoptozu tetiklemektedir (Hernández-Arriaga ve ark., 2017).

12 ülkeden 14 farklı kullanılmış kahve telvesi örneğiyle yapılan bir çalışmada, kahve telvesinin ticari fitosterol kaynağı olarak kullanılabilme potansiyeli incelenmiştir ve KKT örneklerinin fitosterol profili çıkarılmıştır. Çalışmaya göre KKT'deki fitosterol miktarının tahıllardaki kadar yüksek olduğu ve fitosterolün artan talebini karşılayabileceği düşünülmektedir (kamgang Nzekoue ve ark., 2020).

Bir çalışmada, KKT diyet liflerinin bağırsak metabolizması sonucu oluşturduğu kısa zincirli yağ asitlerinin güçlü bir anti-inflamatuar etkiye sahip olduğu ve nitrik asit ile bazı sitokinlerin oluşumunu baskıladığı saptanmıştır. KKT'nin kronik bağırsak hastalıklarıyla mücadelede etkili olabileceği belirtilmiştir (López-Barrera ve ark., 2016).

Son olarak KKT'nin kafeinle zenginleştirilmiş bir biyoaktif ekstrakt elde edilmesinde hammadde olarak kullanılabilceği önerilmektedir. KKT'nin *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* üzerinde antimikrobiyal etkisi olduğu ve bu etkinin KKT yapısında bulunan melanoidinlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. KKT'den elde edilen kahve melanoidinlerinin antimikrobiyal etkisinin normal melanoidinlere göre 2-5 kat daha fazla olduğu saptanmıştır (Castillo et al., 2017).

Sampaio ve ark. (2013)'nin yaptığı çalışmada, KKT kullanarak kahve aromalı damıtılmış bir içecek üretmiştir. Aromatik bileşiklerin şeker eklenmiş KKT'nin sulu ekstraksiyonu ile eldesi ve etanol üretimi sonucu üretilen bu içekte alkoller, esterler, aldehitler ve asitler dâhil toplam on yedi uçucu bileşik tanımlanmıştır. Bu bileşiklerin, üründe hoş gidebilecek özellikleri hissettirecek konsantrasyonlarda bulunduğu; üretilen içeceğin organoleptik özelliklerinin kabul edilebilir düzeyde olduğu ve kahve kokusu, kahve tadı olan hoş bir içecek niteliği taşıdığı düşünülmektedir (Sampaio et al., 2013).

Kahve alanında yapılan çalışmalar henüz sınırlı olmakla birlikte son yıllarda sayıları giderek artmaktadır. Bu çalışmada da kahve üretimi sonucu oluşan kullanılmış kahve telvelerinin diyet lifi olarak kullanılma potansiyeli ve gıda endüstrisindeki potansiyel kullanım alanları değerlendirilmiştir.

## 6. Sonuç

Tüketim miktarı oldukça yüksek olan ve kültürümüzdeki yeri çok eskilere dayanan kahvenin sağlık üzerinde çeşitli olumlu etkileri bulunmaktadır. Kahvenin yanı sıra kahve endüstrisinden oluşan yan ürünlerin tekrar değerlendirilmesi, son yıllarda hem tüketici hem de çevre bilincinin artmasıyla ve geri dönüşümün gerekliliğine çekilen dikkatlerle önemli hale gelmiş ve bu konuda çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Her ne kadar bu konuda belirli bir istatistiğe rastlanmasa da sayıları giderek artan kahve dükkânlarından ve ICO'nun yayınladığı Kahve Tüketim Miktarı Raporu'ndan (Anonim, 2020b) yola çıkıldığında kahve atıklarının ne kadar fazla olabileceğini tahmin etmek güç değildir. Ülkemizin ve dünyanın her yerinde her gün tüketilen çok sayıda espresso temelli kahvenin (espresso, cappucino, americano, cafe latte, vb.) atıklarını yeniden değerlendirebilmek, hem atıkların değerlendirilmesi açısından hem de geliştirilecek yeni fonksiyonel ürünlerin insan sağlığı üzerindeki potansiyel olumlu etkileri düşünüldüğünde oldukça önemli hale gelmektedir. Bu çalışmada, kullanılmış kahve telvelerinin diyet lifi potansiyeli araştırılmış ve gıda endüstrisindeki kullanım alanları belirlenmeye çalışılmıştır. İlgili literatür incelenmiş ve kullanılmış kahve telveleri ile gerçekleştirilen bisküvi uygulamalarının oldukça iyi sonuçlar verdiği, kullanılmış kahve telvelerinin glutensiz ürün geliştirilmesinde yardımcı olarak kullanılabilceği ve iyi bir diyet lifi olarak kullanılabilceği görülmüştür.

## Kaynakça

- Alves, R. C., Rodrigues, F., Antónia Nunes, M., Vinha, A. F., & Oliveira, M. B. P. P. (2017). State of the art in coffee processing by-products. In: *Handbook of Coffee Processing By-Products*, C. M. Galanakis (Eds.), Academic Press, 1-26.
- Anese, M., Nicoli, M. C., Verardo, G., Munari, M., Mirolo, G., & Bortolomeazzi, R. (2014). Effect of vacuum roasting on acrylamide formation and reduction in coffee beans. *Food Chemistry*, 145, 168-172.
- Anonim. (2020a). Coffee Market Report November 2020. Retrieved from <http://www.ico.org/documents/cy2020-21/cmr-1120-e.pdf>
- Anonim. (2020b). World Coffee Consumption. Retrieved from <http://www.ico.org/prices/new-consumption-table.pdf>
- Anonim. (2021). <https://www.instagram.com/p/B2ZysV4IOM6/> 4.04.2021 tarihinde alınmıştır.
- Asilsoy, U. (2021). Nitelikli Kahve. İstanbul: Aya Kitap.
- Ballesteros, L. F., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2014). Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. *Food and Bioprocess Technology*, 7(12), 3493-3503.
- Ballesteros, L. F., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2017). Extraction of polysaccharides by autohydrolysis of spent coffee grounds and evaluation of their antioxidant activity. *Carbohydrate Polymers*, 157, 258-266.
- Bekedam, E. K., Loots, M. J., Schols, H. A., Van Boekel, M. A., & Smit, G. (2008). Roasting effects on formation mechanisms of coffee brew melanoidins. *J Agric Food Chem*, 56(16), 7138-7145.
- Campos-Vega, R., Arreguín-Campos, A., Cruz-Medrano, M. A., & del Castillo Bilbao, M. D. (2020). Spent coffee (Coffea arabica L.) grounds promote satiety and attenuate energy intake: A pilot study. *Journal of Food Biochemistry*, 44(6), e13204.

- Castillo, M., Iriondo-DeHond, A., Martinez-Saez, N., Fernandez-Gomez, B., Iriondo De-Hond, M., & Zhou, J.-R. (2017). Applications of recovered compounds in food products. In: *Handbook of Coffee Processing By-Products*, C. M. Galanakis (Eds.), Academic Press, 171-194
- Ciamelli, C., Palmioli, A., & Airoidi, C. (2019). Coffee variety, origin and extraction procedure: Implications for coffee beneficial effects on human health. *Food Chemistry*, 278, 47-55.
- Costa, A. S. G., Alves, R. C., Vinha, A. F., Barreira, S. V. P., Nunes, M. A., Cunha, L. M., & Oliveira, M. B. P. P. (2014). Optimization of antioxidants extraction from coffee silverskin, a roasting by-product, having in view a sustainable process. *Industrial Crops and Products*, 53, 350-357.
- Desai, N. M., Mallik, B., Sakhare, S. D., & Murthy, P. S. (2020). Prebiotic oligosaccharide enriched green coffee spent cookies and their nutritional, physicochemical and sensory properties. *LWT-Food Science and Technology*, 134, 109924.
- Fuentes-Barria, H., Peña, M., Eguía, A., & Wong, G. (2018). Influence of the bioactives compounds of beetroot (*Beta vulgaris* L) on the cardioprotective effect: A narrative review *Revista Chilena de Nutrición*, 45 (2), 178-182.
- Gemechu, F. G. (2020). Embracing nutritional qualities, biological activities and technological properties of coffee byproducts in functional food formulation. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 235-261.
- Girginol, C. (2018). *Kahve-Topraktan Fincana*. İstanbul: A7 Kitap.
- Guenther, H., Anklam, E., Wenzl, T., & Stadler, R. H. (2007). Acrylamide in coffee: Review of progress in analysis, formation and level reduction. *Food Additives & Contaminants*, 24(1), 60-70.
- Hernández-Arriaga, A. M., Oomah, B. D., & Campos-Vega, R. (2017). Microbiota source impact in vitro metabolite colonic production and anti-proliferative effect of spent coffee grounds on human colon cancer cells (HT-29). *Food Research International*, 97, 191-198.
- Herrera, J. C., & Lambot, C. (2017). The Coffee Tree – Genetic Diversity and Origin. In: *The Craft and Science of Coffee*, B. Folmer (Eds.), Academic Press, 1-16.
- Higdon, J. V., & Frei, B. (2006). Coffee and health: a review of recent human research. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 46(2), 101-123.
- Iriondo-DeHond, A., Garcia, N. A., Fernandez-Gomez, B., Guisantes-Batan, E., Escobar, F. V., Blanch, G. P., San Andres, M. I., Sanchez-Fortun, S., del Castillo, M. D. (2019). Validation of coffee by-products as novel food ingredients. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 51, 194-204.
- Janissen, B., & Huynh, T. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 110-117.
- kamgang Nzekoue, F., Khamitova, G., Angeloni, S., Sempere, A. N., Tao, J., Maggi, F., Xiao, J., Sagratini, G., Vittori, S., Caprioli, G. (2020). Spent coffee grounds: A potential commercial source of phytosterols. *Food Chemistry*, 126836.
- López-Barrera, D. M., Vázquez-Sánchez, K., Loarca-Piña, M. G. F., & Campos-Vega, R. (2016). Spent coffee grounds, an innovative source of colonic fermentable compounds, inhibit inflammatory mediators in vitro. *Food Chemistry*, 212, 282-290.
- Martinez-Saez, N., García, A. T., Pérez, I. D., Rebollo-Hernanz, M., Mesías, M., Morales, F. J., Martín-Cebrejas, M., del Castillo, M. D. (2017). Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food Chemistry*, 216, 114-122.
- Martínez Sáez, N., & Castillo, M. (2019). Development of sustainable novel foods and beverages based on coffee by-products for chronic diseases. *Reference Module in Food Science, Encyclopedia of Food Security and Sustainability* 1, 307-315.
- Michalak, J., Czarnowska-Kujawska, M., Gujska, E., Klepacka, J., & Tońska, E. (2020). Effect of the brewing process on the acrylamide content in coffee beverages. *Proceedings of the Nutrition Society*, 79(OCE2), E293.
- Osorio-Arias, J., Contreras-Calderón, J., Martínez-Montea-gudo, S. I., & Vega-Castro, O. (2020). Nutritional and functional properties of spent coffee ground-cheese whey powder. *Journal of Food Process Engineering*, e13524.
- Pérez-Burillo, S., Mehta, T., Esteban-Muñoz, A., Pastoriza, S., Paliy, O., & Rufián-Henares, J. Á. (2019). Effect of in vitro digestion-fermentation on green and roasted coffee bioactivity: The role of the gut microbiota. *Food Chemistry*, 279, 252-259.
- Rios, M. B., Iriondo-DeHond, A., Iriondo-DeHond, M., Herrera, T., Velasco, D., Gómez-Alonso, S., Callejo, M. J., del Castillo, M. D. (2020). Effect of coffee cascara dietary fiber on the physicochemical, nutritional and sensory properties of a gluten-free bread formulation. *Molecules*, 25(6), 1358.
- Salazar-López, N. J., López-Rodríguez, C. V., Hernández-Montoya, D.A., Campos-Vega, R. (2020). Health Benefits of Spent Coffee Grounds. In: *Food Wastes and By-products*, R. Campos-Vega, B.D. Oomah and H.A. Vergara-Castañeda (Eds.), 327-351
- Sampaio, A., Dragone, G., Vilanova, M., Oliveira, J. M., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2013). Production, chemical characterization, and sensory profile of a novel spirit elaborated from spent coffee ground. *LWT-Food Science and Technology*, 54(2), 557-563.
- Severini, C., Caporizzi, R., Fiore, A. G., Ricci, I., Onur, O. M., & Derossi, A. (2020). Reuse of spent espresso coffee as sustainable source of fibre and antioxidants. A map on functional, microstructure and sensory effects of novel enriched muffins. *LWT-Food Science and Technology*, 119, 108877.
- Simões, J., Nunes, F. M., Domingues, M. R., & Coimbra, M. A. (2013). Extractability and structure of spent coffee ground polysaccharides by roasting pre-treatments. *Carbohydrate Polymers*, 97(1), 81-89.
- Turnbull, D., Rodricks, J. V., Mariano, G. F., & Chowdhury, F. (2017). Caffeine and cardiovascular health. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 89, 165-185.
- Vázquez-Sánchez, K., Martínez-Saez, N., Rebollo-Hernanz, M., del Castillo, M. D., Gaytán-Martínez, M., & Campos-Vega, R. (2018). In vitro health promoting properties of antioxidant dietary fiber extracted from spent coffee (*Coffea arabica* L.) grounds. *Food Chemistry*, 261, 253-259.
- Vegro, C. L. R., & de Almeida, L. F. (2020). Global coffee market: Socio-economic and cultural dynamics. In: *Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil*, L. F. de Almeida and E. E. Spers (Eds.), Elsevier, 3-19.



# Performance Comparison of Different Hole Transport Layer Configurations in a Perovskite-based Solar Cell using SCAPS-1D Simulation

S. Reza Hosseini<sup>1</sup>, Nagihan Delibaş<sup>2\*</sup>, Mahsa Bahramgour<sup>3</sup>, Alireza Tabatabaei Mashayekh<sup>4</sup>, Aligholi Niaei<sup>5</sup>

<sup>1</sup> University of Tabriz, Department of Chemical Engineering and Petroleum, Tabriz, Iran, (ORCID: 0000-0002-0946-7489), [sr.hosseini.sr@gmail.com](mailto:sr.hosseini.sr@gmail.com)

<sup>2</sup> University of Sakarya, Faculty of Art & Science, Department of Physics, Sakarya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5752-062X), [caylak@sakarya.edu.tr](mailto:caylak@sakarya.edu.tr)

<sup>3</sup> University of Tabriz, Department of Chemical Engineering and Petroleum, Tabriz, Iran, (ORCID: 0000-0002-2925-1538), [m\\_bahramgour@outlook.com](mailto:m_bahramgour@outlook.com)

<sup>4</sup> School of Industrial and Information Engineering, Automation and Control Engineering, Milano, Italy, (ORCID: 0000-0002-4295-0923),

[seyedalireza.tabatabaei@mail.polimi.it](mailto:seyedalireza.tabatabaei@mail.polimi.it)

<sup>5</sup> University of Tabriz, Department of Chemical Engineering and Petroleum, Tabriz, Iran, (ORCID: 0000-0001-5580-4266), [aniaei@tabrizu.ac.ir](mailto:aniaei@tabrizu.ac.ir)

(First received 15 June 2021 and in final form 20 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.951602)

**ATIF/REFERENCE:** Hosseini, S.R., Delibas, N., Bahramgour, M., Mashayekh, A. & Niaei, A (2021). Performance Comparison of Different Hole Transport Layer Configurations in a Perovskite-based Solar Cell using SCAPS-1D Simulation. *European Journal of Science and Technology*, (31), 121-126.

## Abstract

Due to the solar cell industry, environmentally friendly and low-cost electricity generation processes, the use of non-renewable energy sources, especially fossil fuels, is developing day by day. Among the different solar cells under use, perovskite solar cells have recently experienced rapid growth in research due to their high performance and low production costs at the same time. Perovskite solar cells typically consist of some main layers such as absorbent, carrier layers and electrodes. The hole transport layer (HTL) is very important in the perovskite solar cell structure due to its important role in cell performance. The light absorbed by the perovskite layer leads to the formation of electrons and holes. These load carriers are then transported to the electrodes by the electron and hole transport layers. There are several types of HTL, such as small molecules in the cell structure, polymeric and inorganic HTLs. In addition, these different options can be in various configurations such as tandem, composite and single structures. In this study, three common HTL types, Spiro-OMeTAD, P3HT and Cu<sub>2</sub>O, were studied and their effects on cell performance in different composite, tandem and single forms were investigated and their results were compared. These comparisons were made in the simulation environment in SCAPS-1D software. The final results showed approximately the best 27% efficiency of the use of tandem structure in the HTL configuration with Spiro-OMeTAD and P3HT in the special perovskite solar cell created in this study.

**Keywords:** Tandem, composite, perovskite solar cell, HTL, SCAPS-1D.

## SCAPS-1D Simülasyonu Kullanılarak Perovskit Tabanlı Güneş Piliinde Farklı Delik Aktarım Katmanı Konfigürasyonlarının Performans Karşılaştırması

### Öz

Güneş pili endüstrisi, çevre dostu ve düşük maliyetli elektrik üretim süreçleri nedeniyle, yenilenemeyen enerji kaynaklarının özellikle fosil yakıtların yerine, kullanımı her geçen gün artmaktadır. Aynı zamanda bilinen farklı güneş pilleri arasındaki perovskit güneş pilleri ile yapılan araştırmalarda yüksek performansları ve düşük üretim maliyetleri sebebiyle hızlı bir büyüme yaşanmıştır. Perovskit güneş pilleri tipik olarak; emici, taşıyıcı katmanlar ve elektrotlar gibi bazı ana katmanlardan oluşur. Hücre performansındaki önemli rolü nedeniyle delik taşıma tabakası (HTL), perovskit güneş pili yapısında çok önemlidir. Perovskit tabakası tarafından emilen ışık, elektron ve deliklerin oluşumuna yol açar. Bu yük taşıyıcıları daha sonra elektron ve delik taşıma katmanları ile elektrotlara taşınır. Hücre yapısındaki küçük moleküller, polimerik ve inorganik HTL'ler gibi çeşitli HTL türleri vardır. Ayrıca bu farklı seçenekler, tek yapı, tandem ve kompozit gibi çeşitli konfigürasyonlarda olabilir. Bu çalışmada, üç yaygın HTL tipi, Spiro-OMeTAD, P3HT ve Cu<sub>2</sub>O oluşturulmuş, bunların farklı kompozit, tandem ve tek formlardaki hücre performansı üzerindeki etkileri araştırılmış olup sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar SCAPS-1D yazılımındaki simülasyon ortamında yapılmıştır. Nihai sonuçlar, bu çalışmada oluşturulan özel perovskit güneş pilinde HTL tipi, Spiro-OMeTAD ve P3HT konfigürasyonundaki tandem yapı kullanımının yaklaşık % 27 ile en iyi verimlilik olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tandem, kompozit, perovskit güneş pili, HTL, SCAPS-1D.



## 1. Introduction

Energy sources and energy generation are always global issues around the world research industry. From the perspective of finite and infinite sources, energies generally divide into two common nonrenewable and renewable energies, respectively. In recent years, because of nonrenewable energies like fossil fuel finishing sources, trends have moved to researches about renewable sources like wind and solar energies. Due to the advantages like the infinite source of sunlight and its generality and environmental friendliness, solar cells have become suitable electricity generation devices. Besides, their fabrication costs are lower than other nonrenewable sources. Silicon solar cells were the first developed generation of solar cells that represented good efficiencies. Silicon solar cells' high fabrication costs led to developing new solar cell generations with other materials representing high efficiencies and low costs. Perovskite solar cells are a new type of solar cells that were developed recently because of their good properties like their tunable bandgaps, low fabrication costs, and high efficiencies.

Perovskite solar cells generally consist of several layers. Like all of the solar cells, the mechanism of electricity generation in these cells is the same but with a little different process. The main layer of a perovskite solar cell is the absorber layer that is a perovskite organic-inorganic material. Bandgaps of this layer are almost in the range of 1.5-2.2 eV. This wide range helps perovskite solar cells to work in different wavelengths by changing the absorbers. The perovskite layer absorbs the photon illuminated from sunlight and then generates electron and hole pair due to the solid-state band theory and charge carrier's generation process. These charge carriers in the perovskite layer are separated by the employing of electron transport layer (ETL) and hole transport layer (HTL) and moved to the electrodes to generate the electric potential and current. These layers are demonstrated in Figure 1.

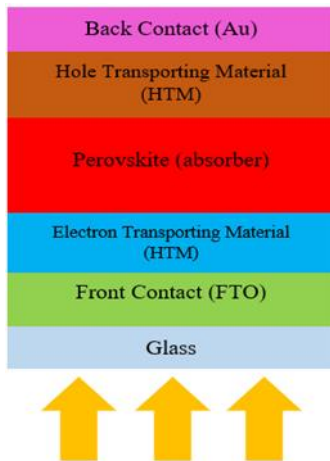


Figure 1. Perovskite solar cell's general structure

Perovskite solar cells are unique since they can be fabricated through different types of materials in each layer. For example, the general formula of the absorber layer is  $MAX_3$  that M is a monovalent cation that can be organic or inorganic cations like MA (methylammonium), FA (formamidinium), Cs, Rb, etc., A is a divalent cation like lead (II), tin (II), germanium (II), etc., and

X is a halide ion like iodine, chlorine, bromine. Utilizing each of these ions leads to different materials in this layer. Moreover, each of the hole transport layers and electron transport layers can be in organic, polymeric, and inorganic forms. Electron transport layers are usually in two organic (like fullerenes) and common inorganic ( $TiO_2$ ,  $ZnO$ ,  $In_2O_3$ ,  $SnO_2$ , etc.) forms. Hole transport layers can find in three small molecules, polymer, and inorganic types. Spiro-OMeTAD is the most common HTL used in the perovskite solar cell structure that is a small molecule. It represented good efficiencies, but its high costs led to utilizing other forms like low-cost and high stability polymeric HTLs and inorganic HTLs [1].

We can find that each of these HTLs has some advantages and drawbacks. Therefore, using hybrid structures help the cell to have each type of HTLs' advantages, simultaneously. Hybrid structures in the perovskite solar cells' all layers refer to tandem, composite, etc. configurations. In the tandem one, two different types of the custom layer are deposited in continuous form. For example, two Spiro-OMeTAD and P3HT hole transport layers can be given in the structure instead of single Spiro-OMeTAD or P3HT, and this helps to efficiency increment and higher stability in some cases. The other important hybrid form for the layers is the composite form. In this configuration, in the desired layer two different materials with various compositions can be synthesized.

In 2017 ramli et al. simulated a tandem perovskite/silicon-based solar cell through the SCAPS-1D simulation program. The simulation was done for single silicon solar cells and tandem solar cells. Results represented that using tandem structure had a positive impact on the cell's efficiency and it was changed from almost 24% to 27% from single to tandem structure, respectively [2]. Another simulation was done in 2020 by Hossain et al. that utilized two perovskite absorbers including lead-free  $Cs_2AgBi_{0.75}Sb_{0.25}Br_6$  and  $CH_3NH_3SnI_3$  absorber as upper and lower layers, respectively. The simulation was done in SCAPS-1D software and they achieved to improved efficiency of about 25% [3].

In this study, using different types and also different configurations of hole transport layers in a perovskite-based solar cell will be investigated via simulation tool for the first time. Three different HTLs including Spiro-OMeTAD as a small molecule, P3HT as a polymer, and  $Cu_2O$  as an inorganic one was chosen to compare them in three single, composite, and tandem configurations.

## 2. Material and Method

The structures mentioned above including various types of HTLs with different configurations were simulated in the SCAPS-1D (Solar Cell Capacitance Simulator) simulation tool. It is a program specially developed for solar cells by Mark Burgelman at the Department of Electronics and Information Systems (ELIS) of the University of Gent, Belgium. It can give us information about charge recombination and their curve, I-V curve, and photovoltaic parameters containing VOC, JSC, FF, PCE [4]. In the mentioned perovskite-based structure, Au were employed as cathode (work function = 5.1 eV), FTO as anode (work function = 4.4 eV),  $TiO_2$  as the electron transport layer (thickness= 100 nm), and  $CH_3NH_3PbI_3$  as the absorber layer (thickness= 450 nm), and three Spiro-OMeTAD, P3HT,  $Cu_2O$  (thickness= 200 nm) in the hybrid and single forms as the hole transport layer.

Table 1. Material parameters used in the cells [5-7]



properties	TiO <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbI <sub>3</sub>	P3HT	Spiro-OMeTAD	Cu <sub>2</sub> O
Thickness (nm)	100	450	200	200	200
bandgap (eV)	3.2	1.5	1.05	3.06	2.17
electron affinity (eV)	3.9	3.9	3.9	2.05	3.2
dielectric permittivity (relative)	9	30	3	3	7.11
CB effective density of states (1/cm <sup>3</sup> )	1.00E+19	2.50E+20	1.00E+20	2.80E+19	1.00E17
VB effective density of states (1/cm <sup>3</sup> )	1.00E+19	2.50E+20	1.00E+20	1.00E+19	1.00E19
thermal velocity of electron (cm/s)	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7
thermal velocity of hole (cm/s)	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7
mobility of electron (cm <sup>2</sup> /Vs)	2.00E+1	5.00E+1	1.00E-4	1.00E-4	5.00E+1
mobility of hole (cm <sup>2</sup> /Vs)	1.00E+1	5.00E+1	1.00E-4	2.00E-4	5.00E+1
dopant concentration of donor N <sub>D</sub> (1/cm <sup>3</sup> )	1.00E+16	0	0	0	0
dopant concentration of acceptor N <sub>A</sub> (1/cm <sup>3</sup> )	0	1.00E+17	1.00E+18	1.00E+18	1.00E+18
Defect density N <sub>t</sub> (1/cm <sup>3</sup> )	0	1.00E+13	0	0	0

Each of the utilized layers has its properties like their thicknesses and their charge amount.

SCAPS-1D simulates the custom solar cell by solving the essential Poisson and electron and hole continuity equations including these properties, simultaneously. The equations are given below:

$$\vec{\nabla} \cdot \epsilon \vec{\nabla} \varphi = -q(p - n + N_D + -N_A^-) \quad (1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J}_n = q(R - G) + q \frac{\partial n}{\partial t} \quad (2)$$

$$-\vec{\nabla} \cdot \vec{J}_p = q(R - G) + q \frac{\partial p}{\partial t} \quad (3)$$

In these equations,  $\varphi$ ,  $\epsilon$ ,  $q$ ,  $p$ ,  $n$ ,  $N_D$ ,  $N_A^-$ ,  $\vec{J}_p$ ,  $\vec{J}_n$ ,  $G$ ,  $R$  are the electrostatic potential, dielectric permittivity, electric charge, hole density, electron density, the dopant concentration of donor, dopant concentration of acceptor, hole current density, electron current density, charge generation rate, recombination rate, respectively.

All of the needed parameters of the mentioned layers are given in Table 1.

In this study, three single, composite, and tandem configurations for the HTL were considered to compare the results. In the composite form, the thickness and dopant concentration of all samples were considered the same. In the tandem configuration, the thickness for each layer was considered as 100 nm. Moreover, in the tandem state, each case was repeated in the inverted structure, too.

The simulation was performed at the temperature of 300K and the sunlight angle of 48° with the vertical line of the earth (A.M.1.5) and light power of 1000 W/m<sup>2</sup>.

### 3. Results and Discussion

The simulation was done in the mentioned conditions and the results are represented in this section. The results were given in the following sections as the single, composite, tandem forms, and final I-V curve.

#### 3.1. Comparison of HTLs in a single form

In the first step, the best candidates of the three mentioned categories for HTLs including Spiro-OMeTAD, P3HT, and Cu<sub>2</sub>O were chosen and their results were compared. Results indicated that the best performance was obtained for Cu<sub>2</sub>O with 19.77% efficiency compared to 19.26% and 15.92% for Spiro-OMeTAD and P3HT, respectively. Figure 2 illustrates the comparison of these three single HTLs in the perspective of photovoltaic parameters.

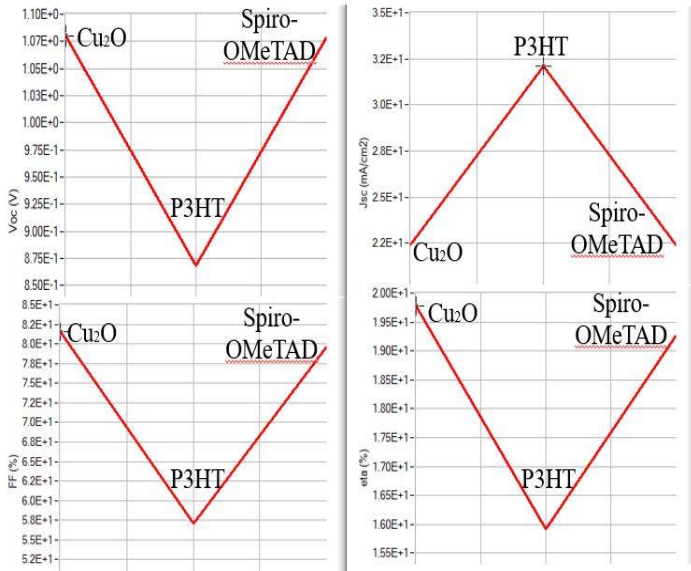


Figure 2- Photovoltaic parameters for the single HTLs

**3.2. Comparison of HTLs in composite form**

In this step, three composite configurations were simulated with the use of Spiro-OMeTAD, P3HT, Cu<sub>2</sub>O as HTLs two by two with each other. In each composite including Spiro-OMeTAD/P3HT, Spiro-OMeTAD/Cu<sub>2</sub>O, and P3HT/Cu<sub>2</sub>O, the composition of each single HTM can be varied from 0 to 1. Here, each composite was optimized from the view of the composition of HTLs. Results represented that the optimum composition for the material in Spiro-OMeTAD/P3HT, Spiro-OMeTAD/Cu<sub>2</sub>O, and P3HT/Cu<sub>2</sub>O composites were 0.1/0.9, 0/1, 0.6/0.4, with the efficiencies of 24.57%, 19.77%, and 20.66%, respectively. Figure 3 (a-c) displays the variation of photovoltaic parameters with the change of composition of HTLs in each composite configuration.

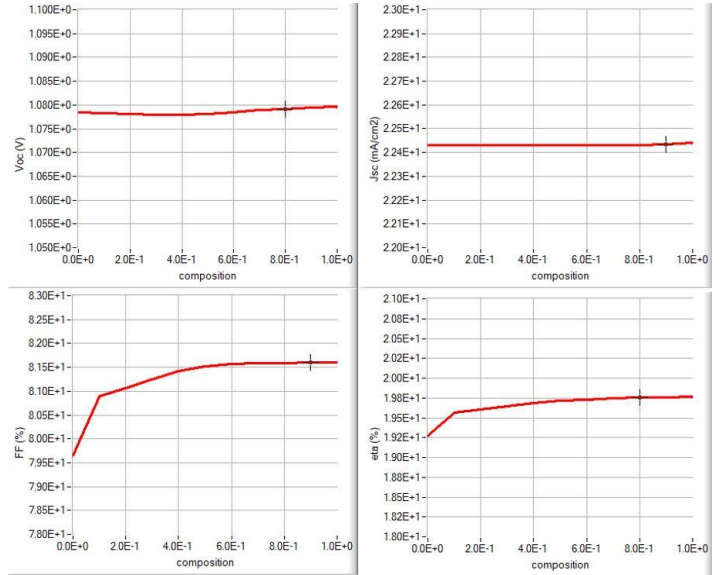


Figure 3-b. Photovoltaic parameters vs. composition of Cu<sub>2</sub>O in the Spiro-OMeTAD/Cu<sub>2</sub>O composite

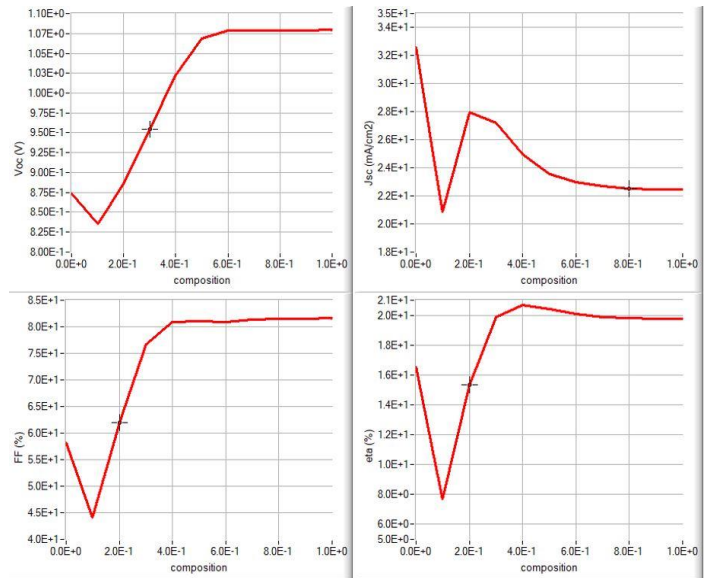


Figure 3-c. Photovoltaic parameters vs. composition of Cu<sub>2</sub>O in the P3HT/Cu<sub>2</sub>O composite

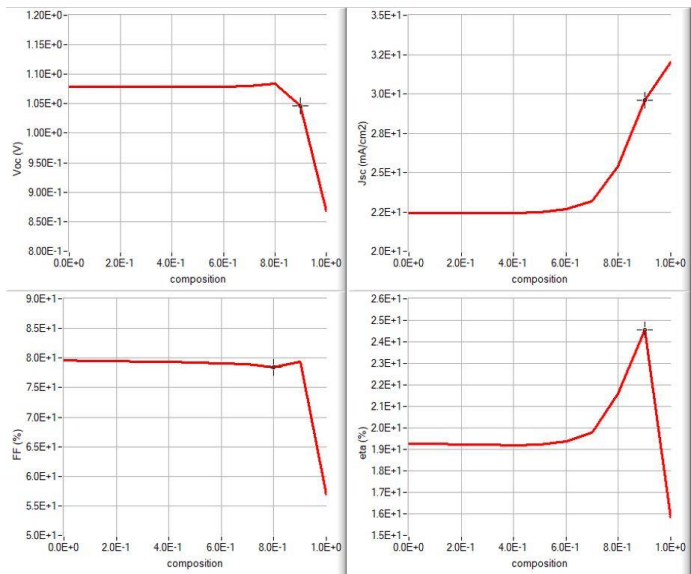


Figure 3-a. Photovoltaic parameters vs. composition of P3HT in the Spiro-OMeTAD/P3HT composite

**3.3. Comparison of HTLs in tandem form**

In this form, the mentioned HTLs were placed in continuous and series configuration named as tandem structure. In this section, all of the possible cases of HTLs' tandem configurations were simulated and their results were investigated. The cases include Spiro-OMeTAD/Spiro-OMeTAD (or single Spiro-OMeTAD), Spiro-OMeTAD/P3HT, Spiro-OMeTAD/Cu<sub>2</sub>O, P3HT/ Spiro-OMeTAD, P3HT/P3HT (or single P3HT), P3HT/Cu<sub>2</sub>O, Cu<sub>2</sub>O/ Spiro-OMeTAD, Cu<sub>2</sub>O/P3HT, and Cu<sub>2</sub>O/Cu<sub>2</sub>O (or single Cu<sub>2</sub>O) with 100 nm thickness for all HTLs (the first HTLs mentioned here, refer to the layer near the electrode). Results showed that Cu<sub>2</sub>O/P3HT and Spiro-OMeTAD/P3HT tandem structures represent better performance with efficiencies of about 27% compared to other structures.

Figure 4 confirms these results in the form of power conversion efficiency.

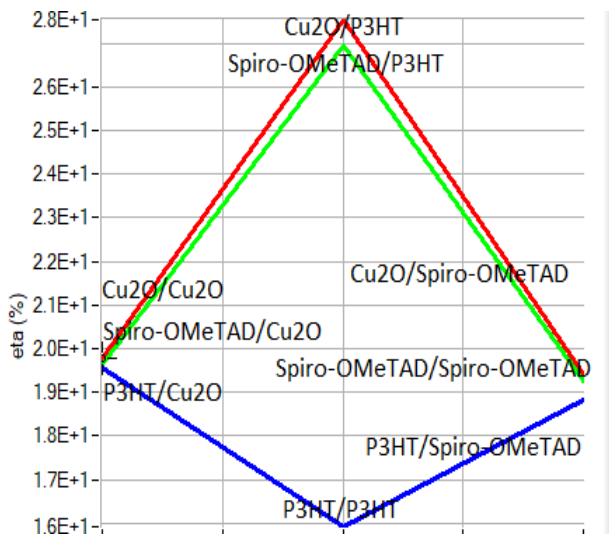


Figure 4- Efficiency of all tandem HTL structures

### 3.3. Final I-V curve

With the comparison of all configurations mentioned above, it can be understood that the best efficiency among all structures belongs to the type of tandem HTL cells that the P3HT layer was placed between the upper HTL near the electrode and the absorber layer. This could be because of the structural modification role of P3HT layer. However, these implementations were demonstrated in figure 5 (a,b) and table 2. The results were in good agreement with experimental works, too [8-11].

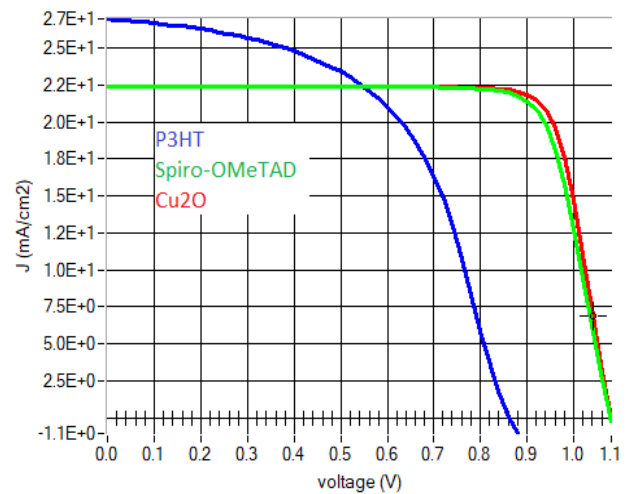


Figure 5-a. Current-density (I-V) curve of different HTLs in the single configuration

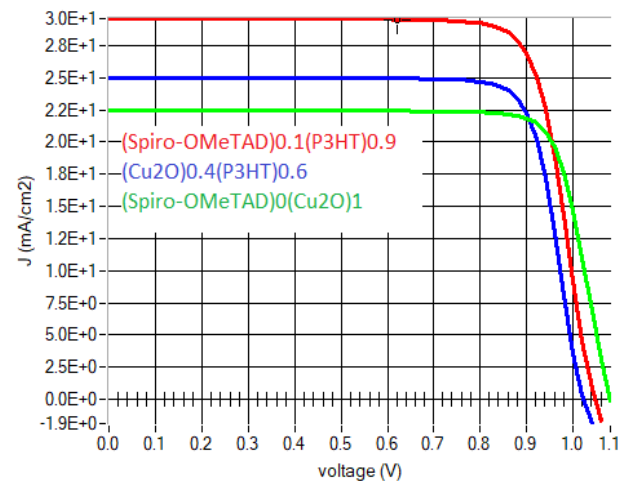


Figure 1-b. Current-density (I-V) curve of different composite HTLs

Table 2- Photovoltaic parameters of configurations used for HTLs

configuration	HTL	V <sub>oc</sub>		J <sub>sc</sub>		FF		PCE	
		(SCAPS)	(exp)	(SCAPS)	(exp)	(SCAPS)	(exp)	(SCAPS)	(exp)
simple	Spiro-OMeTAD	1.08	0.98	22.43	21.20	79.63	77.60	19.26	18.7
	P3HT	0.87	0.80	32.09	19.20	57.09	73.30	15.92	15.4
	Cu <sub>2</sub> O	1.08	0.99	22.44	19.70	81.60	75.00	19.77	18.4
composite	(Spiro-OMeTAD) <sub>0.1</sub> (P3HT) <sub>0.9</sub>	1.05		29.59		79.37		24.57	
	(Spiro-OMeTAD) <sub>0</sub> (Cu <sub>2</sub> O) <sub>1</sub>	1.08		22.44		81.60		19.77	
	(Cu <sub>2</sub> O) <sub>0.4</sub> (P3HT) <sub>0.6</sub>	1.02		25.00		80.84		20.66	
tandem	Spiro-OMeTAD/P3HT	1.09		31.47		78.37		26.97	
	P3HT/Spiro-OMeTAD	1.08		22.43		77.86		18.81	
	Spiro-OMeTAD/Cu <sub>2</sub> O	1.08		22.44		81.03		19.63	

## 4. Conclusions and Recommendations

Recently, the usage of newly developed perovskite solar cells has experienced rapid improvements because of their tremendous features. Perovskite solar cells consist of several layers that each one has its specific role in the cell structure. In this study, the hole transport layer with different configurations in a perovskite-based solar cell was investigated. Results represented that developing new structures like composite forms and tandem configurations, significantly lead to efficiency increment in the cell. The best structure for the custom cell used in this study obtained about 27% for the Cu<sub>2</sub>O/P3HT tandem structure.

## 5. Acknowledge

The authors would like to thank the cooperation of the university of Tabriz, the University of Sakarya.

## 6. Funding

The authors have no received any financial support for the research, authorship, or publication of this study.

## 7. The Declaration of Conflict of Interest/ Common Interest

This study was produced from the Seyyed Reza Hosseini, Master thesis which was accepted on April 14, 2021, in the Department of Chemical Engineering, the University of Tabriz with supervisor Prof. Aligholi Niaei and advisor Ass. Prof. Dr. Nagihan Delibaş.

## References

- [1] Hussain, I., Tran, H. P., Jaksik, J., Moore, J., Islam, N., & Uddin, M. J. (2018). Functional materials, device architecture, and flexibility of perovskite solar cell. *Emergent Materials*, 1(3), 133-154.
- [2] Ramli, N. F., Sepeai, S., Rostan, N. F. M., Ludin, N. A., Ibrahim, M. A., Teridi, M. A. M., & Zaidi, S. H. (2017, May). Model development of monolithic tandem silicon-perovskite solar cell by SCAPS simulation. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1838, No. 1, p. 020006). AIP Publishing LLC.
- [3] Hossain, A., Hasan, M. M., Rahman, M. S., & Hossain, M. M. (2020, June). Fully Lead-Free All Perovskite Tandem Solar Cell with Improved Efficiency: Device Simulation Using SCAPS-1D. In *2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)* (pp. 1221-1224). IEEE.
- [4] Burgelman, M., Nollet, P., & Degraeve, S. (2000). Modelling polycrystalline semiconductor solar cells. *Thin solid films*, 361, 527-532.
- [5] Karimi, E., & Ghorashi, S. M. B. (2017). Investigation of the influence of different hole-transporting materials on the performance of perovskite solar cells. *Optik*, 130, 650-658.
- [6] Karimi, E., & Ghorashi, S. M. B. (2017). Simulation of perovskite solar cell with P 3 HT hole-transporting materials. *Journal of Nanophotonics*, 11(3), 032510.
- [7] Kim, E., & Bhattacharya, I. (2020, June). Material selection method for a perovskite solar cell design based on the genetic

- algorithm. In *2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)* (pp. 2631-2634). IEEE.
- [8] Zhang F, Shi W, Luo J, Pellet N, Yi C, Li X, Zhao X, Dennis TJ, Li X, Wang S, Xiao Y. (2017) "Isomer-pure bis-PCBM-assisted crystal engineering of perovskite solar cells showing excellent efficiency and stability", *Advanced Materials*, vol. 29(17), 1606806.
- [9] Kapur, V. K., Basol, B. M., & Tseng, E. S. (1987). Low cost methods for the production of semiconductor films for CuInSe<sub>2</sub>/CdS solar cells. *Solar cells*, 21(1-4), 65-72.
- [10] Kapur, V. K., Bansal, A., Le, P., & Asensio, O. I. (2003). Non-vacuum processing of CuIn<sub>1-x</sub>GaxSe<sub>2</sub> solar cells on rigid and flexible substrates using nanoparticle precursor inks. *Thin solid films*, 431, 53-57.
- [11] Dhere, N. G., Ghongadi, S. R., Pandit, M. B., Jahagirdar, A. H., & Scheiman, D. (2002). CIGS<sub>2</sub> thin-film solar cells on flexible foils for space power. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 10(6), 407-416.





## Derin Öğrenme ile Nesne Tanıyan Robot

Uğur Talaş<sup>1\*</sup>, Uğur Yüzgeç<sup>2</sup>, Burakhan Çubukçu<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Bölümü, Bilecik, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9287-413X), [ugur.talas@bilecik.edu.tr](mailto:ugur.talas@bilecik.edu.tr)

<sup>2</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Bölümü, Bilecik, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5364-6265), [ugur.yuzgec@bilecik.edu.tr](mailto:ugur.yuzgec@bilecik.edu.tr)

<sup>3</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Bölümü, Bilecik, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0480-1254), [burakhan.cubukcu@bilecik.edu.tr](mailto:burakhan.cubukcu@bilecik.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 5 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 16 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.962558)

**ATIF/REFERENCE:** Talaş, U., Yüzgeç, U. & Çubukçu, B. (2021). Derin Öğrenme ile Nesne Tanıyan Robot. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 127-133.

### Öz

Günümüzde birçok farklı alanda insanlara fayda sağlamak için teknolojik cihazlar ve robotlar kullanılmaktadır. Özellikle askeri alanda insan hayatının riske girebileceği ortamlarda robotlar yardımıyla, hayati riskler minimize edilmek istenilmektedir. Askeri operasyonlarda bir binaya keşif amaçlı bir insanın girmesi oldukça riskli bir durumdur. Bu çalışmada bu tür riskli durumlarda insanın keşif yapması yerine uzaktan kontrol edilebilen, gördüğü nesnelere tanıyabilen ve tanıdığı nesnelere kontrol ekranında gösteren bir robot tasarlanmıştır. Bu çalışmada geliştirilen robot nesne tanımak için Google tarafından geliştirilen TensorFlow derin öğrenme kütüphanesini kullanmaktadır. Python diliyle geliştirilen yazılım robot üzerinde bulunan Raspberry Pi3/B mini bilgisayarı üzerinde çalıştırılmıştır. Robot hareketi için DC motorlardan faydalanılmıştır. Raspberry Pi3/B mini bilgisayarı üzerindeki GPIO pinleri ile motor sürücü devresine sinyal gönderilerek robotun hareketlerinin kontrol edilebilmesi sağlanmıştır. Yapılan prototipin testlerinde nesnelere çoğunlukla başarılı şekilde tanınabildiği ve uygun ışık ortamında başarı oranının arttığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** TensorFlow, Derin Öğrenme, Nesne Tanıma, Bilgisayar Görmesi, Robotik.

## Object Recognizing Robot Application with Deep Learning

### Abstract

Today, technological devices and robots are used to benefit in many different areas. In environments where people of other military field may be at risk, vital risks are desired to be minimized for robots. It is very risky for a person to enter a building for reconnaissance purposes during military operations. It is the place where this kind of risky person learns a robot that can be remotely controlled, recognize the text he sees, and display the text control text he knows, instead of making exploration. In this structure, the robot uses the TensorFlow deep learning library offered by Google to recognize objects. It was run on the Raspberry Pi3/B minicomputer on the software with the language of Python. DC motors are used for robot movement. In Raspberry Pi3/B minicomputer, the robot's movements can be controlled by sending a signal to the motor driver circuit with GPIO pins. In the tests of the prototype, it has been observed that the guarantee of success in the distribution area has increased.

**Keywords:** TensorFlow, Deep Learning, Object Recognition, Computer Vision, Robotics.

\* Sorumlu Yazar: [ugur.talas@bilecik.edu.tr](mailto:ugur.talas@bilecik.edu.tr)

## 1. Giriş

Literatürde "Artificial Intelligence" olarak adlandırılan yapay zeka terimi ilk kez 1956 yılı Dartmouth Konferansında Stanford Üniversitesi öğretim üyelerinden Prof. John McCarthy tarafından ortaya atılmıştır (McCarthy, 2006) (Abadi, Agarwal ve diğerleri, 2016). 1956'dan ünümüze yapay zeka alanında bir çok akademik çalışma yapılarak geliştirilmiş ve özellikle teknolojinin ilerlemesiyle bu alanda yapılan çalışmaların, uygulamadaki kullanımı da artmıştır (Abadi, Barham ve diğerleri, 2016). Günümüzde yapay zeka kullanan akıllı cihazlar ve robotlar geliştirilmeye başlanmıştır. Yapay zeka yardımıyla geliştirilen bu akıllı robotlar uygulanacak tasarıma göre kamera, sensor, internet v.b. yöntemlerle elde ettikleri verileri işleyebilme, verileri sınıflayabilme, bu verilerden çıkarım yapılabilme ve karar verebilme gibi zeka gerektiren yeteneklere sahiptirler (Kocamaz, 2012; Köse, 2017).

Bilgisayar görmesi yapay zekanın bir alt dalı olarak adlandırılmaktadır. Bilgisayar görmesi alanında yapılan çalışmalar temel olarak kameradan elde edilen görselden bir anlam çıkarılmasına dayanmaktadır. Kameradan anlık olarak alınan görsel üzerinde görüntü işlemek, görüntü üzerinde farklı türde nesnelere tespitini yapmak oldukça zor bir problemdir. Bu işlemleri yapabilmek için bilgisayar görmesi alanında yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen teknik ve yöntemler kullanılarak görüntüyü işlemek ve değerlendirmek daha kolay bir şekilde yapılabilir (Dey, 2016). Literatürde bilgisayar görmesi yöntem ve tekniklerinin hazır olarak uygulanabilmesini sağlayan TensorFlow, Keras, Theano, Torch gibi derin öğrenme kütüphaneleri bulunmaktadır (E. R. Davies, 2005). Yapılan çalışmalara göre uygulama ortamındaki CPU gücü, GPU gücü, işlenmek istenen görüntünün boyutları gibi faktörler hazır kullanılan derin öğrenme kütüphanelerinin başarımlarını etkilemektedir (Parvat ve diğerleri, 2017; Shatnawi ve diğerleri, 2018; Vassili Kovalev ve diğerleri, 2016; Yapıcı ve diğerleri, 2021).

Bu çalışmada nesne tanıma işlemleri için TensorFlow derin öğrenme kütüphanesi kullanılmıştır. TensorFlow Google çalışanlarının 9 Kasım 2015'de yayımladığı bir makale ile birlikte dünyaya duyurulmuştur. TensorFlow, üreticisi Google'ın tanımıyla veri akış grafikleri kullanarak nümerik hesaplar yapabilen, açık kaynak kodlu bir derin öğrenme kütüphanesidir (Abadi, Barham ve diğerleri, 2016). TensorFlow'un nesne tanıma işlemleri için SSD (Single Shot Detection), CNN (Convolutional Neural Network), R-CNN (Recurrent Convolutional Neural Network) ve hızlı R-CNN (Fast R-CNN) gibi birbirinden farklı yapay sinir ağları ile eğittiği açık kaynak kodlu modelleri bulunmaktadır (Girshick ve diğerleri, 2014; Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick, 2017; Tensorflow, 2019). Buradaki modellerin birbiri arasında avantajlı veya dezavantajlı oldukları durumları vardır (Aydın, 2020). Hızlı R-CNN ile geliştirilen bir model daha yüksek oranda doğru nesne tahmini yapabilirken, SSD ile geliştirilen modelin doğru tahmin oranı daha düşüktür. Ancak SSD model, Hızlı R-CNN'e göre daha az sistem kaynağı kullandığından düşük donanımlı cihazlarda SSD model kullanılması avantajlıdır (Pena ve diğerleri, 2017.; Phon-Amnuaisuk ve diğerleri, 2018). Bu çalışma kapsamında yapılan robotta, yazılım Raspberry Pi3/B mini bilgisayarı üzerinde çalıştırıldığından düşük donanımlara uyumlu SSD model tercih edilmiştir ("TensorFlow", 2021).

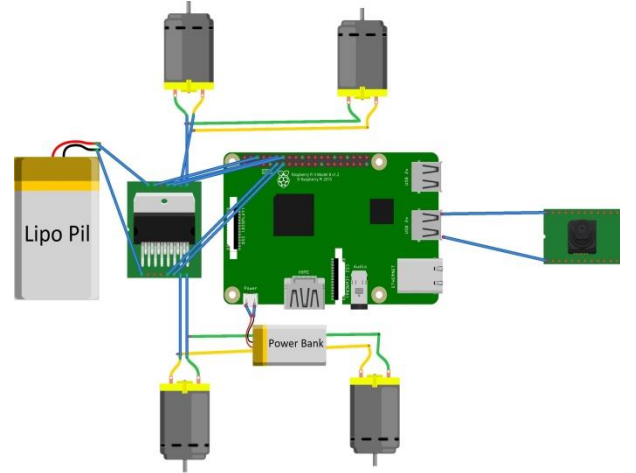
Literatürde TensorFlow ve derin öğrenme teknikleri kullanılarak birçok farklı çalışmalar yapılmıştır. İnsan becerilerini taklit ederek, cerrahi operasyonlarda kullanılmak üzere tasarlanan robotlar (Krishnan ve diğerleri, 2017), navigasyon cihazlarının yol kenarlarındaki trafik işaretlerini tanıması (Puthussery ve diğerleri, 2017), engelli ve yaşlı bakımı yapılan evlerde uygunsuz durumların tespiti yapılması (Yang ve diğerleri, 2018), geri dönüşüm atıklarının sınıflandırılması (Sağlam ve diğerleri, 2020), insansız su araçları (Ataner ve diğerleri, 2020) gibi derin öğrenme yardımıyla geliştirilen birçok güncel çalışmalar literatürde yer almaktadır.

Bu çalışmada savunma sanayinde kullanılması amacıyla, uzaktan kontrol edilebilen, gördüğü nesnelere ve canlıları tanıyabilen bir mobil robot tasarlanmıştır. Robot özellikle hayati risk taşıyan ortamlarda, insan yerine robot kullanılarak bölgede nesnelere veya insan olup olmadığını tespit edebilmektedir. Python diliyle geliştirilen robotun yazılımı TensorFlow derin öğrenme kütüphanesini kullanmaktadır. Robotun donanımında Raspberry Pi3/B mini bilgisayar ve DC motorlar kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde robotun donanımsal yapısından, üçüncü bölümünde kullanılan TensorFlow kütüphanesinden, dördüncü bölümünde oluşturulan yazılımdan, son bölümde ise elde edilen sonuçlardan bahsedilmiş ve daha sonra yapılabilecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

## 2. Robot Donanımı

Robot devresinin gövdesi piyasada hazır olarak satılan pleksi şeffaf bir gövdedir. Bu gövde üzerinde 4 DC motor, L298N motor sürücü devresi, Raspberry Pi3/B mini bilgisayar, lipo pil, batarya ve kamera bağlanarak bulunmaktadır (Şekil 1).

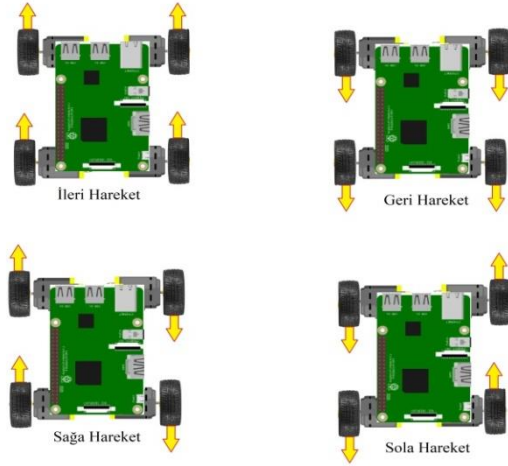


Şekil 1. Robot devre şeması

Şekil 1'de görüldüğü üzere devrede iki adet enerji kaynağı bulunmaktadır. L298N motor sürücü devresi -20 ile +135 arası sıcaklıkta, 5 ile 35 volt aralığında ve maksimum 2 amper ile çalışmaktadır (Celik ve diğerleri, 2018). Motorları beslemek için taşınabilir şarj aletine göre daha fazla güç sağlayabilecek

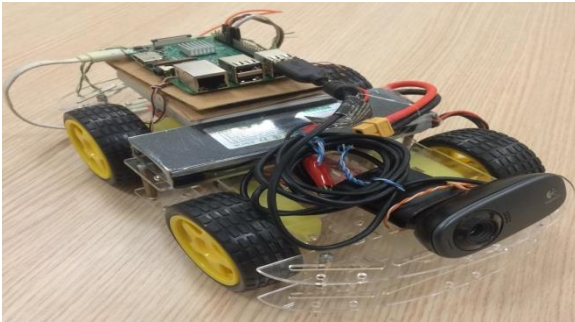
Olan lipo pil kullanılmıştır. Taşınabilir şarj aleti ise Raspberry Pi3/B'yi beslemek için kullanılmıştır. Raspberry Pi3/B'nin 4 adet GPIO pini motor sürücü devresine sinyal göndermek için kullanılmıştır. Bu pinlerden 11 ve 14'nolu pinleri motor sürücü devrenin 1 ve 2'nolu girişlerine; 15 ve 16'nolu pinler ise motor sürücü devrenin 3 ve 4'nolu girişlerine bağlanmıştır. Motor sürücü devre iki adet motoru ileri ve geri hareket ettirebilmektedir. 1'nolu pine sinyal geldiğinde soldaki

motoru ileri 2'nolu pine sinyal geldiğinde ise soldaki motoru geri hareket ettirmektedir. Motor sürücü devrenin 3 ve 4 numaralı girişleri de aynı şekilde sağdaki motoru hareket ettirmektedir. Robot üzerinde toplam dört adet motor kullanılacağından sağ ve sola paralel şekilde bağlı ikişer motor yerleştirilmiştir. Böylelikle robotun sağında ve solunda bulunan motorlar birbirinden bağımsız ancak sağda ve solda bulunan ikili motorlar birbirine bağımlı hareket emiş olacaklardır. Şekil 2'de robotun ileri, geri, sağa ve sola hareketleri gösterilmiştir.

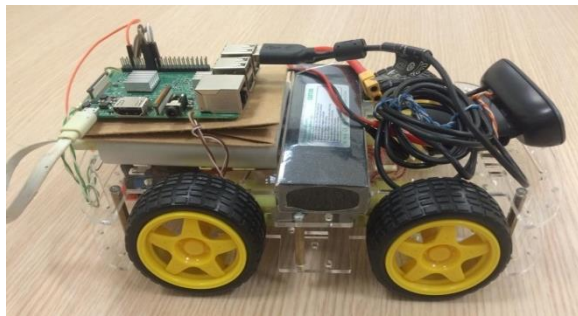


Şekil 2. Robot hareket yönleri

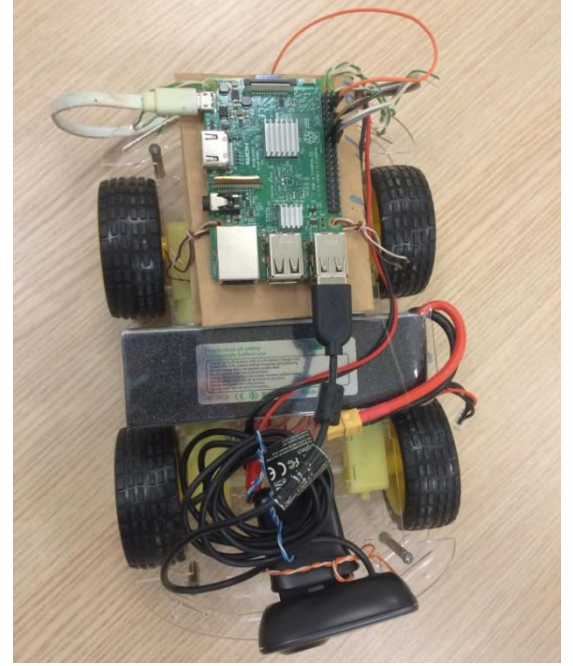
Şekilden de görüleceği üzere robot ileri, geri, sağa dönme ve sola dönme olarak toplamda dört farklı hareket yapmaktadır. İleri ve geri hareketlerde tüm motorlar ileri veya geri olarak hareket ettirilmektedir. Dönme hareketinde ise sağa dönerken sağ motorlar geri sol motorlar ise ileri hareket ettirilmektedir; sola dönerken ise soldaki motorlar geri sağdaki motorlar ise ileri hareket ettirilmektedir. Robotun tamamlanmış haline ait görseller Şekil 3-5'de gösterilmektedir.



Şekil 3. Robot resmi I



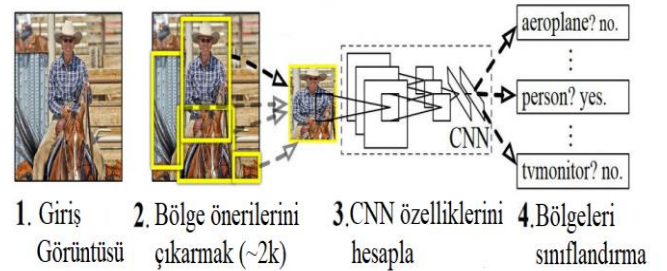
Şekil 4. Robot resmi II



Şekil 5. Robot resmi III

### 3. Derin Öğrenme Kütüphanesi (TensorFlow)

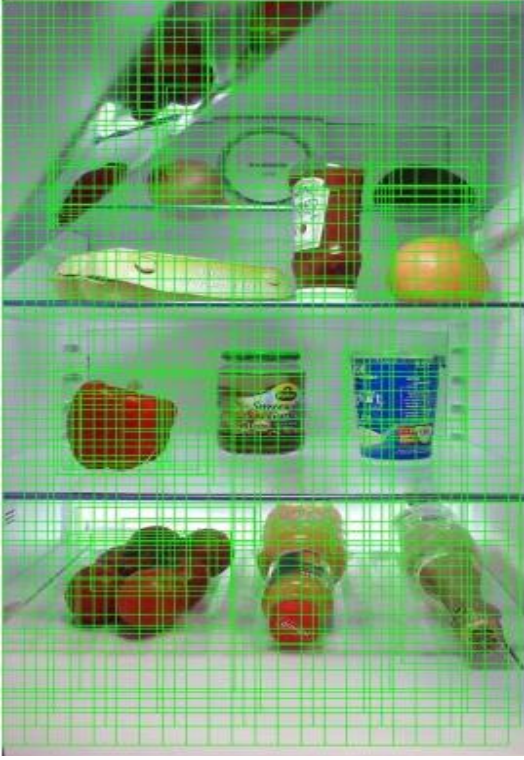
TensorFlow Kütüphanesi, veri akış grafiklerini kullanarak sayısal hesaplama için açık kaynaklı bir yazılım kütüphanesidir. TensorFlow derin öğrenme işlemleri gerektiren birçok alanda kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında TensorFlow Kütüphanesi nesne tanımak için kullanılmıştır. TensorFlow nesne tanıma işlemi yaparken bölge önerisi yaparak tüm resimde nesne aramak yerine resmi bölgelere ayırıp sadece bu bölgelerde nesne arayarak yapacağı işlem sayısını azaltmaktadır. Şekil 6'da TensorFlow R-CNN yapısı ile nesne algılama işlemi gösterilmiştir.



Şekil 6. TensorFlow R-CNN yapısı ile nesne algılama işlemi (Object Detection using Fast R CNN / Azure AI Gallery, 2021).

R-CNN'nin temel fikri, başlangıçta milyonlarca görüntü kullanarak görüntü sınıflandırması için eğitilmiş derin bir sinir ağı nesne algılama amacıyla değiştirmektir. Şekilden de görüleceği gibi bir giriş görüntüsü verildiğinde ilk olarak çok sayıda bölge önerisi üretilmektedir. Bu bölge önerileri bağımsız bir şekilde CNN modeline gönderilir. Son olarak, her bir bölge için bir etiket ve sınıflandırıcı sonucu çıkış olarak döndürülür. Şekil 7'de yine bir örnek görüntü üzerinde TensorFlow Kütüphanesi ile bulunan bölge önerileri gösterilmiştir. Bu görselde TensorFlow Kütüphanesi ile bölge önerilerinde bulunmuş ve önerilen bölgeler yeşil kutularla işaretlenmiştir.





Şekil 7. TensorFlow kütüphanesi ile bulunan bölge önerileri (Object Detection using Fast R CNN | Azure AI Gallery, 2021).

Resmin orijinali düşünüldüğünde bu resim üzerinde milyonlarca farklı boyutta dikdörtgen çizilip bunlar üzerinde nesne arama işlemi yapılabilirdi ancak bölge önerisi bu sayıyı 1000-2000 bölgeye ayırarak yapılacak işlem sayısını oldukça düşürmektedir.

Kameradan alınan anlık görüntülerde her bir çerçeve için yaklaşık 2000 bölge üzerinde nesne arama işlemi yapılması özellikle düşük donanımlı cihazlar için çok mümkün değildir. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında kullanılacak tekniğe göre bölge önerisinde bulunmayan veya bulunduktan sonra CNN, R-CNN, Hızlı R-CNN, SSD gibi farklı konvolüsyonel sinir ağları ile yapılan uygulamaların nesne tanıma işlemini hızlandırdığı görülmüştür. Google ekibi tarafından, bu teknikler için hazır modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller Github üzerinden açık kaynak kodlu olarak sunulmaktadır. Tablo 1'de hazır sunulan ön eğitilmiş modellerin örnek birkaç tanesine ait çalışma hızları ve çıktı türleri verilmiştir (Github, 2021).

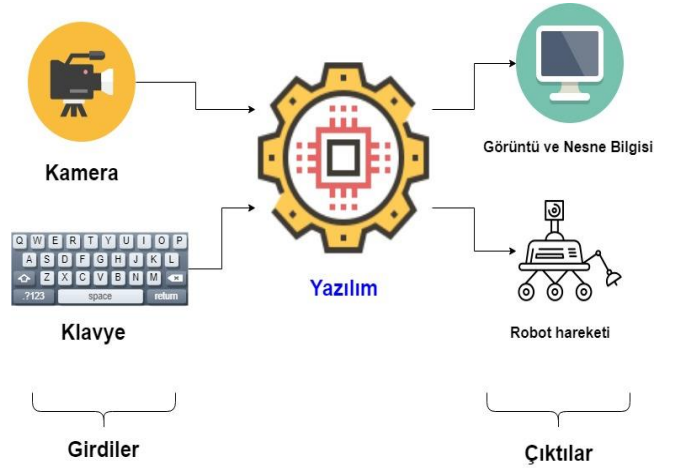
Tablo 1. Github'ta sunulan eğitilmiş ağların hız bilgileri.

Model ismi	Süre (ms)	Çıkış Türü
ssd mobilenet v1 coco	30	Kutular
ssd resnet 50 fpn coco	76	Kutular
ssd mobilenet v2 coco	31	Kutular
ssdlite mobilenet v2 coco	27	Kutular
ssd inception v2 coco	42	Kutular
faster cnn inception v2 coco	58	Kutular
faster rcnn resnet50 coco	89	Kutular
rfcn resnet101 coco	92	Kutular
mask rcnn inception v2 coco	79	Maskeler

Github'da sunulan modeller arasında düşük seviyeli donanımlar için tavsiye edilenleri SSD modelleridir. SSD modeller diğerlerine göre nesne bulma isabeti daha düşük ancak yaptığı işlem sayısı daha az olduğu için işlemci üzerinde görüntü işleme yapmak için daha uygundur. Çalışma kapsamında Raspberry Pi3/B üzerinde nesne tanıma işlemi yapılacağından, SSD Mobilenet V1 Coco modeli seçilmiştir. Seçilen model hazır ön eğitilmiş bir derin öğrenme modelidir. (Abadi, Agarwal ve diğerleri, 2016; Tensorflow, 2019).

#### 4. Robotun Yazılımı

Çalışmanın tamamında Python dili kullanılmıştır. Kameradan görüntüyü elde etmek ve görüntü işleme için OpenCV kütüphanesinden faydalanılmıştır. Görüntü üzerinden nesne tanımak için ise TensorFlow kütüphanesinden faydalanılmıştır. Geliştirilen yazılım Raspberry Pi3/B mini bilgisayarı Rasbian işletim sistemi üzerinde çalıştırılmıştır. Yazılıma başlamadan önce Raspberry Pi üzerine sırasıyla Rasbian işletim sistemi, OpenCV ve TensorFlow kurularak çalışma ortamı hazır hale getirilmiştir. Robota uzaktan erişim sağlamak için kart üzerine RDP kurulumu gerçekleştirilmiştir. RDP ile uygulamanın hem geliştirilme hem de robotu çalışırken kumanda edebilmek için PC ile uzaktan erişim sağlanmıştır. Şekil 8'de çalışmanın yazılım girdi-çıkış diyagramı gösterilmiştir.



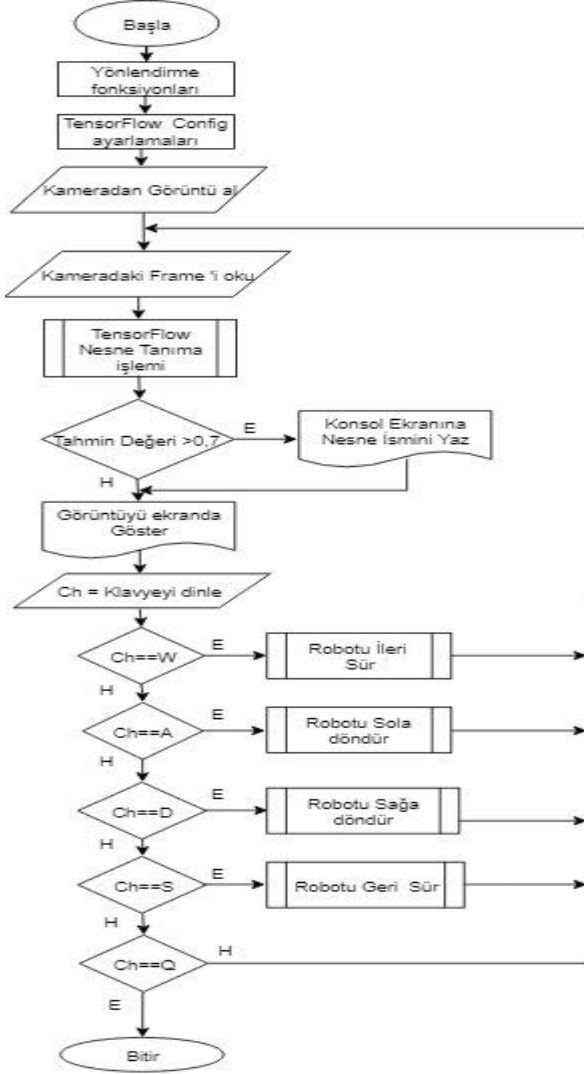
Şekil 8. Yazılım girdi çıktı diyagramı.

Geliştirilen yazılımda iki farklı kaynaktan girdi alınıp, iki farklı çıktı verilmektedir. Girdilerden biri kameradan alınan görüntüdür, diğer girdi ise klavyeden alınan robotun hareket bilgileridir. Yazılımın çıktılarından biri kameradan elde edilen görüntüyü nesne tanıma işleminden sonra tespit edilen nesnelere işaretli olarak ekrana yansıtması ve liste olarak kontrol ekranında göstermesidir. Diğer çıktı ise motor sürücü devresine GPIO pinlerinden gönderilen kontrol sinyalleridir. Şekil 9'da çalışma kapsamında geliştirilen yazılıma ait akış diyagramı gösterilmiştir.

Akış diyagramı incelendiğinde robotun çalışmaya hazır olduğu ve görüntü işleme yaptığı yer alt bölümde bulunan döngüde gerçekleşmektedir. Bu döngü öncesinde referanslar ve tanımlamalar yapılmıştır. Tanımlamalar sonrasında döngü içerisindeki kod sayısını arttırmamak adına robot hareketini sağlayan komutlar ayrı bir fonksiyon olarak tanımlanmıştır. Fonksiyonlar ileri, geri, sağ ve sol olarak isimlendirilmiştir ve



döngü içerisinde bu fonksiyonlar çağrılarak robot hareketi sağlanmaktadır. Fonksiyonların altında TensorFlow için gerekli olan tanımlamalar yapılmaktadır. Bu tanımlamalarda hangi model kullanılacağı bu modelin dosya yolu gibi ayarlar yapılmaktadır. Döngü öncesinde son olarak OpenCV yardımıyla kameradan görüntü alınması sağlanmıştır.

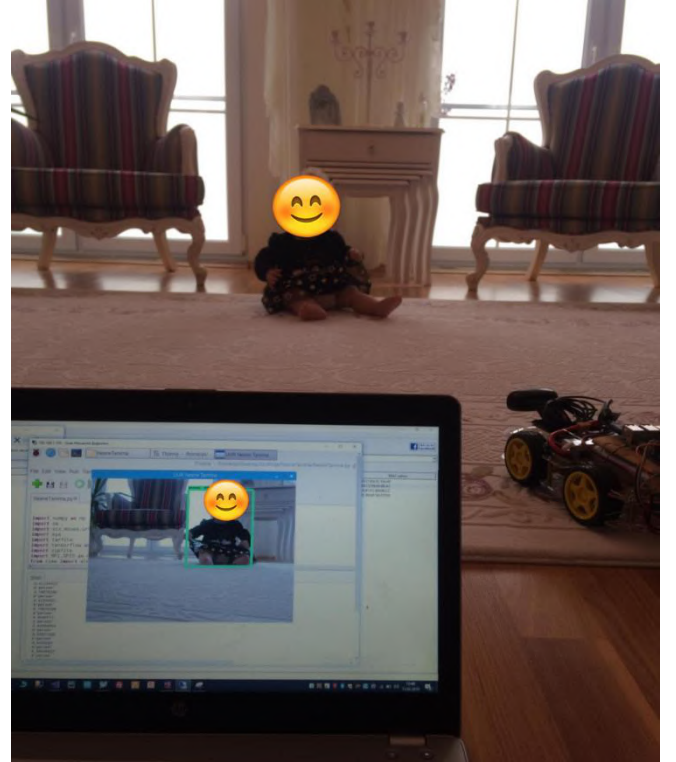


Şekil 9. Yazılım akış diyagramı.

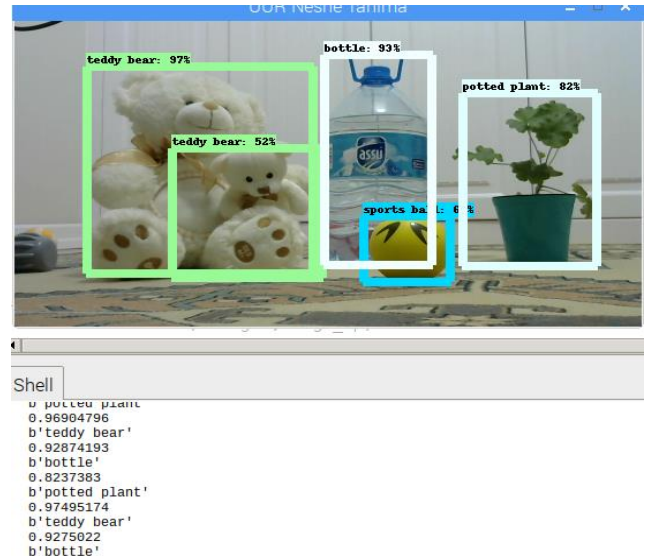
Oluşturulan döngü sonsuz olarak çalışacak şekilde planlanmıştır. Döngüyü kırmak için yazılan komut "Q" tuşuna basılmasıyla aktif olmaktadır. Döngü her iterasyonda anlık kameradan okunan çerçeveyi alıp Tensor Flow kodunu çalıştırmaktadır. TensorFlow cevap olarak bir dizi ve gönderilen çerçeve üzerinde bulunduğu nesnelere işaretleyerek geri döndürmektedir. TensorFlow çerçeve üzerinde birçok tahmin yapmaktadır ve bu tahminlerin doğruluk yüzdesini vermektedir. Bu çalışmada doğruluk yüzdesinin eşik değeri %70 olarak belirlenmiştir. Yüzde 70'lik doğruluk oranının altında bulunan tahminler dikkate alınmayacaktır. Yüzde 70'in üzerinde olan tahminler ise robotun uzaktan yönlendirildiği konsol ekranına yazdırılmıştır. Görüntü üzerinde bu bilgiler verilse de konsol ekranına yazdırılarak buradan da takibin sağlanmasına olanak tanınmaktadır. İşaretlenen görüntü ekrana yazdırıldıktan sonra klavye dinlenilip robot için hareket komutu verilip verilmediği kontrol edilip döngü başa dönmektedir. "Q" Tuşuna basılıp yazılım durdurulana kadar bu döngü tekrar etmektedir.

## 5. Uygulama Testleri

Çalışmanın donanım ve yazılım bileşenleri tamamlandıktan sonra robot canlı ortamda test edilip rotanın istenilen hedeflere uygun olarak çalışıp çalışmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 10'da robotun canlı ortamda bir bebeği tanıyıp ekranda işaretlendiği görülmektedir. Şekil 11'de bir başka uygulama çıktısı konsol ekran çıktısı ile birlikte gösterilmiştir.



Şekil 10. Nesne tanıma uygulama çıktısı I.



Şekil 11. Nesne tanıma uygulama çıktısı II.

Uygulama testleri sırasında tanıdığı örnek nesnelere başarımlar yüzdeleri Tablo 2'de verilmiştir. Gerçekleştirilen bu testler sonucunda bazı olumsuzluklar gözlemlenmiştir. Bir çerçeve görüntüyü işlemek yaklaşık 3 saniye sürmektedir. Bu nedenle kameradan gelen görüntülerde gecikme yaşanmaktadır. Robot gerçek zamanda bir insan gördüğünde robotu kontrol eden kişi bu görüntüyü 3 saniye sonra görecektir. Bu gecikme robotun kullanım alanı kurgusundaki askeri operasyonlar için oldukça

önemli bir zaman kaybıdır. Ayrıca burada yaşanan gecikme görüntü işleme adımından sonra klavyenin dinlenmesi aşamasında da gecikmeye neden olduğundan robotun efektif bir şekilde kontrol edilmesini engellemektedir.

Tablo 2. Örnek nesne tanıma başarımlarının yüzdeleri.

Nesne	Doğruluk Yüzdesi
İnsan	97
Şişe	93
Top	88
Bitki	82
Laptop	92

## 6. Sonuç

Bu çalışmada ağ üzerinden kontrol edilen ve TensorFlow derin öğrenme Kütüphanesi ile nesne tanıma işlemi yapan bir robot gerçekleştirilmiştir. Çalışmada donanım olarak Raspberry Pi3/B mini bilgisayarı kullanılmıştır. Python dili ile gerçekleştirilen yazılımda, SSD Mobinet V1 modelini kullanan TensorFlow derin öğrenme kütüphanesi kullanılmıştır. Robotun hareketi için ise DC motorlardan ve L298N motor sürücü kartından yararlanılmıştır.

Yapılan uygulamalarda nesne tanıma işlemlerinin başarıyla gerçekleştirildiği ancak bu işlemlerin 640x480 çözünürlüklü ve 24 frame per second (fps) bir görüntüde ışığın şiddetine bağlı olarak nesne tanıma işleminin 3-4 saniye gecikme ile gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Yaşanan bu gecikme robotun uzaktan kontrolünü zorlaştırmaktadır. Kullanılan Raspberry Pi3/B donanımının nesne tanıma işlemleri için yeterli olmadığı gözlemlenmiştir. İşlem gücü daha yüksek olan donanımlar kullanıp sonuçların gözlemlenmesi gerekmektedir. Nesne tanımak için kullanılan TensorFlow'un derin öğrenme kütüphanesinin birçok modeli bulunmaktadır. Gelecek çalışmalarda, bu modeller sisteme ayrı ayrı tanımlanıp karşılaştırılarak diğer derin öğrenme modelleri ile de robot çalıştırılıp en performanslı olanı seçilmelidir. Bu karşılaştırma işlemleri yapıldığında robot istenilen seviyedeki hassasiyet ile kontrol edilebilecektir. Robot genel olarak keşif amaçlı kurgulanmıştır. Robotun sahada kullanılabilmesi için düz olmayan zeminlere uygun tekerlek yapısı geliştirilmesi gerekmektedir. Robot genel anlamda keşif amaçlı kullanıma uygun tasarlanmıştır ancak robotun üzerine bir silah yerleştirilerek taarruz amaçlı kullanılması için de çalışmalar yapılabilir. Bu sayede askeri bir çatışmadaki hayati risklerde minimize edilmiş olacaktır.

## Kaynakça

Abadi, M., Agarwal, A., Barham, P., Brevdo, E., Chen, Z., Citro, C., ... & Zheng, X. (2016). Tensorflow: Large-scale machine learning on heterogeneous distributed systems. arXiv preprint arXiv:1603.04467.

Abadi, M., Barham, P., Chen, J., Chen, Z., Davis, A., Dean, J., ... & Zheng, X. (2016). Tensorflow: A system for large-scale machine learning. In 12th {USENIX} symposium on operating systems design and implementation ({OSDI} 16) (pp. 265-283).

Ataner, E., Özdeş, B., Öztürk, G., Yasin, T., Çelik, C., Durdu, A., ... Öz, Y. (2020). Deep Learning Methods in Unmanned Underwater Vehicles. European Journal of Science and

Technology Special Issue, 345–350.

doi:10.31590/ejosat.804599

Aydın, Z. (2020). Performance Analysis of Machine Learning and Bioinformatics Applications on High Performance Computing Systems. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 8(1), 1–14. doi:10.21541/apjes.547016

Celik, Y. ve Güneş, M. (2018). Designing an Object Tracker Self-Balancing Robot. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 6(2), 124–133. doi:10.21541/apjes.414715

Dey, A. (2016). Machine Learning Algorithms: A Review. International Journal of Computer Science and Information Technologies, 7(3), 1174–1179.

E. R. Davies. (2005). Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities, Elsevier.

Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T. ve Malik, J. (2014). Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation.

Github, (2021). 20 Mart 2021 tarihinde [https://github.com/tensorflow/models/blob/master/research/object\\_detection/g3doc/tf1\\_detection\\_zoo.md](https://github.com/tensorflow/models/blob/master/research/object_detection/g3doc/tf1_detection_zoo.md) adresinden erişilmiştir.

Kocamaz, A. F. (2012). Makine Öğrenmesi Tabanlı Bir Uzman Sistem Tasarımı.

Köse, U. (2017). Yapay zeka tabanlı optimizasyon algoritmaları geliştirilmesi (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği ABD).

Krishnan, S., Fox, R., Stoica, I., & Goldberg, K. (2017, October). Ddco: Discovery of deep continuous options for robot learning from demonstrations. In Conference on robot learning (pp. 418-437). PMLR.

McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N. ve Shannon, C. E. (2006). A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence. AI Magazine, 27(4), 12–14.

Object Detection using Fast R CNN | Azure AI Gallery. (2021). 15 Mart 2021 tarihinde <https://gallery.azure.ai/Tutorial/Object-Detection-using-Fast-R-CNN-1> adresinden erişildi.

Parvat, A., Chavan, J., Kadam, S., Dev, S., & Pathak, V. (2017, January). A survey of deep-learning frameworks. In 2017 International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC) (pp. 1-7). IEEE.

Pena, D., Foremski, A., Xu, X., & Moloney, D. (2017, July). Benchmarking of CNNs for low-cost, low-power robotics applications. In RSS 2017 Workshop: New Frontier for Deep Learning in Robotics (pp. 1-5).

Phon-Amnuaisuk, S., Murata, K. T., Pavarangkoon, P., Yamamoto, K., & Mizuhara, T. (2018). Exploring the applications of faster R-CNN and single-shot multi-box detection in a smart nursery domain.

Puthussery, A. R., Haradi, K. P., Erol, B. A., Benavidez, P., Rad, P., & Jamshidi, M. (2017, June). A deep vision landmark framework for robot navigation. In 2017 12th system of systems engineering conference (SoSE) (pp. 1-6). IEEE.

Sağlam, A., Melike, T. A. Ş., & BAYKAN, N. (2020). Geri Dönüştürülebilir Atıkların Materyallerine Göre Sınıflandırılması için Raspberry Pi Tabanlı Donanım Geliştirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 30-38.

Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal

- networks. *Advances in neural information processing systems*, 28, 91-99.
- Shatnawi, A., Al-Bdour, G., Al-Qurran, R., & Al-Ayyoub, M. (2018, April). A comparative study of open source deep learning frameworks. In *2018 9th international conference on information and communication systems (icics)* (pp. 72-77). IEEE.
- Tensorflow. (2019). GitHub - tensorflow/models: Models and examples built with TensorFlow. 15 Mart 2021 tarihinde <https://github.com/tensorflow/models> adresinden erişildi.
- TensorFlow. (2021). 15 Mart 2021 tarihinde <https://www.tensorflow.org/> adresinden erişildi.
- Kovalev, V., Kalinovsky, A., & Kovalev, S. (2016). Deep learning with theano, torch, caffe, tensorflow, and deeplearning4j: Which one is the best in speed and accuracy?.
- Yang, G., Yang, J., Sheng, W., Junior, F. E. F., & Li, S. (2018). Convolutional neural network-based embarrassing situation detection under camera for social robot in smart homes. *Sensors*, 18(5), 1530.
- Yapıcı, M. M., & Topaloğlu, N. Performance comparison of deep learning frameworks. *Computers and Informatics*, 1(1), 1-11.



# Nonlinear Regression Analysis of the Adsorption of Basic Green-5 from Aqueous Solutions onto a Low-Cost Biodegradable Adsorbent Material

Dilek Özmen<sup>1\*</sup>, Özlem Yıldırım<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3771-5750), [dilekus@iuc.edu.tr](mailto:dilekus@iuc.edu.tr)

<sup>2</sup> Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7590-4926), [ozlemkarabacak3@hotmail.com](mailto:ozlemkarabacak3@hotmail.com)

(First received 5 October 2021 and in final form 20 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1004444)

**ATIF/REFERENCE:** Özmen, D. & Yıldırım, Ö. (2021). Nonlinear Regression Analysis of the Adsorption of Basic Green-5 from Aqueous Solutions onto a Low-Cost Biodegradable Adsorbent Material. *European Journal of Science and Technology*, (31), 134-140.

## Abstract

Industrial wastewater containing dyes is a main reason for the pollution of water resources. These dyes are toxic and may threaten ecosystems and the human health and they are resistant to sunlight and to high temperature. Worldwide production of dyes in textile, leather, pharmaceuticals and other large industries such as food, constitutes 10,000 different dyes and pigments with an amount of  $8 \times 10^5$  tons annually. Nowadays, several physical and chemical methods and technologies are used for the purification process of wastewater before it is discharged to the environment, moreover these methods can be improved. In this study, removal of basic green-5 dye from aqueous solutions by calcined eggshell (ES) through the adsorption process is analyzed. The experiments were carried out at 25, 35, 45 °C. Experiments were carried out for four different initial concentration values of the dye. Also, surface fitting plots were created to show the effect of the amount of the eggshell waste, pH and temperature on adsorption. BET surface area and SEM analyzes were performed for calcined ESs. Non-linear regression analysis was applied for Baudu and Fritz-Schlunder Isotherms. Results obtained show that the calcined ES can be a convenient, cost-effective alternative for this adsorption.

**Keywords:** Adsorption, Basic Green-5 Dye (BG5), Biodegradable adsorbent, Calcined eggshell, Non-linear adsorption isotherm.

## Bazik Yeşil-5'in Sulu Çözeltilerden Düşük Maliyetli Biyobozunur Bir Adsorban ile Adsorpsiyonunun Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi

### Öz

Boya içeren endüstriyel atık sular, su kaynaklarının kirlenmesinin ana nedenidir. Bu boyalar toksik olup, ekosistemleri ve insan sağlığını tehdit edebilirler. Ayrıca, güneş ışığına ve yüksek sıcaklığa dayanıklıdır. Tekstil, deri, ilaç ve gıda gibi büyük endüstrilerdeki boyaların dünya çapında üretim miktarı, yıllık  $8 \times 10^5$  ton olup, 10.000 farklı tür boya ve pigmentten oluşmaktadır. Günümüzde atıksuların çevreye deşarj edilmeden önce kirlilikten arındırılması için çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntem ve teknolojiler kullanılmaktadır, ayrıca bu yöntemler geliştirilebilirler. Bu çalışmada, kalsine yumurta kabuğu (YK) ile sulu çözeltilerden basic green-5 boyasının adsorpsiyon işlemi ile uzaklaştırılması araştırılmıştır. Deneyler 25, 35, 45°C'de gerçekleştirilmiştir. Boyanın dört farklı başlangıç konsantrasyonu için deneyler yapılmıştır. Ayrıca yumurta kabuğu miktarı, pH ve sıcaklığın adsorpsiyon üzerindeki etkisini göstermek için yüzey uydurma grafikleri oluşturulmuştur. Kalsine edilen YK'ları için BET yüzey alanı ve SEM analizleri yapılmıştır. Baudu ve Fritz-Schlunder İzotermi için doğrusal olmayan regresyon analizi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, kalsine YK'nun bu adsorpsiyon için iyi ve ucuz bir alternatif olarak kabul edilebileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Adsorpsiyon, Bazik yeşil-5, Biyobozunur adsorban, Kalsine yumurta kabuğu, Doğrusal olmaya adsorpsiyon izotermi.

\* Corresponding Author: [dilekus@iuc.edu.tr](mailto:dilekus@iuc.edu.tr)



## 1. Introduction

High and adequate quality water is indispensable for all living beings. Nowadays water pollution has become a serious issue (Borhade and Kale, 2017). A large amount of coloured wastewater is generated from coloured components called dyes. Dyes are anionic, cationic or non-ionic compounds that are widely used in the industry e.g. textiles, printing, rubber, cosmetics, plastics, leather, etc to colour the products. (Vital et al., 2016). The first synthetic dye Mauve (Mauveine) was invented by Perkin in 1856. Since then, more than 100,000 dyestuffs have been commercially produced. Nowadays, more than 1,000,000 tons of paint are produced per year. 50% of these are textile dyes (Singh and Arora, 2011).

Various methods like coagulation-flocculation, adsorption, membrane technology, ion-exchange, irradiation are used for the removal of these dyes from water (Singh and Arora, 2011), Fenton reagent methods, ozonation, photocatalyst, degradation (aerobic or anaerobic), electrokinetic and others (Dawood and Sen, 2014). To remove the organic pollutants dissolved in water, adsorption is an effective and frequently used treatment procedure. Because of the initial investment costs, ease of operation, simplicity of design and its insensitivity to toxic substances, adsorption is known to be a superior technique, compared to other techniques available for wastewater treatment (Vital et al., 2016; Singh and Arora, 2011, Dawood and Sen, 2014).

Tran et al., (2017) investigated adsorption of basic green 5 (BG5) with activated carbon synthesized from golden shower through a new chemical activation process. BG5 was also tested with three different adsorbents, activated clay, mont-morillonite, and activated carbon (Shiau and Pan, 2005). The dynamic data indicate that activated carbon was suitable for BG5. Ghaedi et al., (2014) investigated sorption of BG5 from aqueous solution using Ag and ZnO nanostructures loaded on activated carbon.

The eggshell is one of the most generic biomaterials in nature, but unfortunately after the removal of the inner contents of the cracked egg are further utilised, the waste eggshell is often simply discarded (Baláz et al., 2016). Eggshells, considered a hazardous waste by EU (European Union) regulations, are discarded, amounting hundreds of thousands of tones worldwide (Laca et al., 2017). The eggshell waste is made up of the eggshell itself (ES) and the eggshell membrane (ESM). Calcite  $\text{CaCO}_3$  is the main component of the ES, followed by  $\text{MgCO}_3$  (1%),  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  (1%) and 4% of organic matter (Baláz et al., 2016; Tsai et al., 2006).

After many studies to explore some useful applications for the ES, research has shown that they can be used as a livestock feed additive and as fertilizers and they appear to be able to adsorb some organic compounds and heavy metals (Baláz et al., 2016; Velmurugan, 2017; Pettinato et al., 2015; Eletta et al., 2016; Laca et al., 2017; Tsai et al., 2006; Babuponnusami and Hosseini et al., 2017; Köse and Kıvanç, 2011; Elabbas et al., 2016; Pramanpol and Nitayapat, 2006; Hassan and Hassan, 2013; Al-Ghouti and Salih, 2018; Giraldo and Moreno-Piraján, 2014; De Angelis et al., 2017). The naturally porous structure of the eggshell makes it an attractive material option to use as an adsorbent. Each eggshell has been estimated to contain 7000-17000 pores (Laca et al., 2017; Babuponnusami and Velmurugan, 2017; Pettinato et al., 2015; Pramanpol and Nitayapat, 2006).

In this work, removing of BG5 dye using calcined eggshell was investigated for the first-time using batch adsorption system. The purpose of this study is the removal of the BG5 in the aqueous solution with adsorption process at the maximum rate. Therefore, optimum pH and temperature, the optimum amount of adsorbent-adsorbate was investigated to ensure maximum adsorption. Characterization of calcined eggshell was done using Brunauer–Emmett–Teller (BET) and Scanning electron micrographs (SEM) analyzes. Experiments were performed at three different temperatures, 25, 35 and 45°C. UV/VIS Spectrometer (Perkin Elmer Lambda 35) was used for analysis. In the isotherm studies, Baudu and Fritz-Schlunder Isotherm models (Saadi et al., 2015; Ayawei et al., 2017) were applied. The parameters of the two isotherms were determined by non-linear regression analysis.

## 2. Material and Method

### 2.1. Materials

Basic Green 5 (BG5; Methylene Green zinc chloride double salt) was obtained from Sigma-Aldrich (CAS no: 224967-52-6) and was used without additional purification steps. Figure 1 shows the chemical structure of the dye. The solution was prepared by dissolving the necessary amount of dye in distilled water.

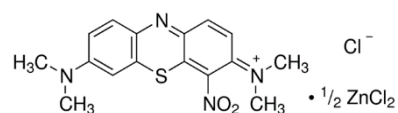


Figure 1. Molecular structure of BG5.

Chicken eggshells used in this study were supplied from bakeries in Istanbul, Turkey. To remove impurity and pollutants, the samples were washed several times with tap water and then with distilled water. The dried eggshells were crushed and screened through a set of sieves to get the geometrical size. 250 mesh and below, were calcined at 800 °C for 2 h. BET (Brunauer–Emmett–Teller) surface area and SEM (Scanning electron micrographs) analyzes were performed for calcined ESs. According to the elemental analysis run, the components of the eggshell powder are 94% calcium carbonate, 4% magnesium carbonate, 3% protein and 1% of organic matter (Borhade and Kale, 2017).

SEM analysis is often helpful in determining the surface morphology of an adsorbent. SEM image of ES sample after calcination is shown in Figure 2. It was expected that the crystal structure would partially change after heat treatment in calcined ES was determined to be  $5.4 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ .

For pH adjustment purposes, hydrochloric acid (0.1 M) and sodium hydroxide (0.1 M) solutions were prepared.

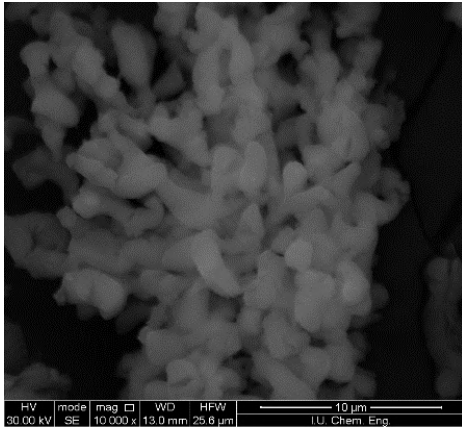


Figure 2. Scanning electron micrographs (SEM) of the calcined eggshell.

2.2. Methods

In this study, batch type process is used for the adsorption experiments. In the first stage of the experiments, adsorbent's period of the equilibrium state was determined. Then, the impact of the amount of the adsorbent was investigated. Following the first stage, in the second stage, impacts of the adsorbent dosage, dye concentrations in the initial stages, and pH were determined. Finally, Baudu and Fritz-Schlunder isotherms which are monolayer and 4-parameters have been applied. The BG5 solution of 20 ppm was prepared by dissolving BG5 dye in deionized water, and dilutions of the stock solution were used in subsequent experiments (10, 15, 20 ppm or mg.L<sup>-1</sup>). In the isotherm experiments, a known amount of adsorbent (0.05-2.0 g) and 5 mL, 15-20 ppm dye solution were mixed in a 50 mL Erlenmeyer flask. The mixture was shaken at a constant speed and temperature in a thermostatic shaker (NUVE BS302 model). Samples were taken out periodically, and the aqueous phase was analyzed by using UV/VIS Spectrometer (Perkin Elmer Lambda 35) at 638 nm against a reagent blank to measure the concentration of BG5. Two parallel experiments under identical conditions were performed for each experiment to have duplication; and their averages were used. The experiments were carried out at 25, 35 or 45 °C.

The amount of BG5 adsorbed on the eggshells surface was calculated using Eq. 1:

$$q_e = (C_0 - C_e) \frac{V}{m} \tag{1}$$

where  $q_e$  is the amount of BG5 adsorbed onto adsorbent (mg/g);  $C_0$  and  $C_e$  (ppm) are the concentration of BG5 at initial and equilibrium, respectively;  $V$  is the volume of solution (L) and  $m$  is the mass of the adsorbent (g).

The adsorption efficiency or BG5 removal percentage is calculated using Eq. 2 adopted from Eletta et al. (2016).

$$\text{Adsorption Efficiency (\%)} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \cdot 100 \tag{2}$$

2.3. Adsorption Isotherms

The equilibrium adsorption isotherms are crucial data to understand and interpret the adsorption mechanism. Various adsorbents and some of the most suitable adsorption isotherm models examined in previous studies are summarized in Figure

3 (Saadi et al., 2015). In that work, the two, three and four parameter equilibrium adsorption isotherm models related to monolayer and multilayer adsorption were studied. The parameters of the two isotherms whose results are shared here were determined by non-linear regression analysis. The equations and parameters of Baudu and Fritz-Schlunder isotherms are shown in Table 1 (Saadi et al., 2015; Ayawei et al., 2017).

Table 1. Four-parameter Adsorption Isotherms models used in this study

Isotherm	Formula	Parameters
Baudu	$q_e = \frac{q_B b_0 C_e^{(1+x+y)}}{1 + b_0 C_e^{(1+x)}}$	$b_0, q_B, x, y$
Fritz-Schlunder	$q_e = \frac{C C_e^\alpha}{1 + D C_e^\beta}$	$C, D, \alpha, \beta$

In Table 1, for Baudu isotherm,  $q_B$  is Baudu maximum adsorption capacity (mg.g<sup>-1</sup>),  $b_0$  is equilibrium constant,  $x$  and  $y$  are Baudu parameters. For Fritz-Schlunder isotherm,  $C$  is Fritz-Schlunder maximum adsorption capacity (mg.g<sup>-1</sup>),  $D$  is Fritz-Schlunder equilibrium constant,  $\alpha$  and  $\beta$  are Fritz-Schlunder model exponents. The parameters of both isotherms can be determined by nonlinear regression analysis.

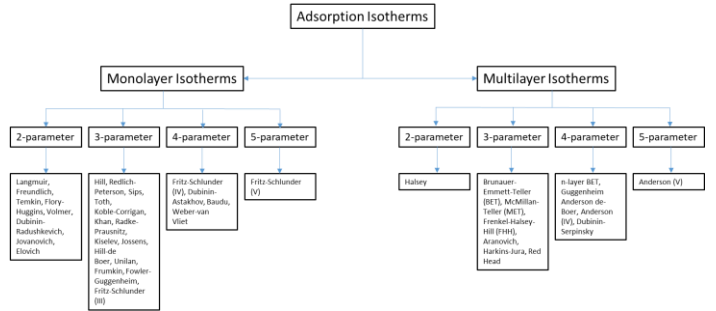


Figure 3. Monolayer and multilayer adsorption isotherm models (Saadi et al., 2015).

2.4. Error Functions

Recently, linear regression analysis is one of the most obvious and feasible tools often applied for the analysis of experimental data obtained from the adsorption process. This was used to confirm the best fitting relationship that measures the distribution of adsorption and the theoretical assumptions of adsorption models and the consistency of adsorption models (Saadi et al., 2015; Ayawei et al., 2017; Ersoy et al., 2014) It is also known that during the transformation into linearized forms of adsorption isotherms, the error formation of the experimental data usually undergoes a change. Non-linear regression analysis is inevitable in this framework because it provides a mathematically rigorous method for determining adsorption parameters using isotherm equations in the original form. Unlike linear regression, nonlinear regression usually involves minimizing the error distribution between the experimental data and the estimated isotherm based on the convergence criteria. If the data obtained from a model is similar to the experimental data, the error value is small; if they differ, it will be a large number. Several methods can be applied to minimize the error values so that the optimum

values of the isotherm parameters can be determined. This process is no longer difficult to calculate due to the availability of computer algorithms. RMSE (Root Mean Square Error) method was used in this study. RMSE is defined as Eq. (3) (Saadi et al., 2015; Ayawei et al., 2017):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (q_{e,exp} - q_{e,cal})^2} \quad (3)$$

where  $q_{e,cal}$  is theoretical equilibrium adsorption capacity of adsorbent (mg/g),  $q_{e,exp}$  is experimental equilibrium adsorption capacity of adsorbent (mg/g) and  $n$  shows the number of adsorption data for a given temperature.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Adsorption Experiments

Adsorption equilibrium time was determined 60 min. The effect of amount of adsorbent on the extent of solute adsorption was investigated by varying dose from 0.05 g to 2.0 g adsorbent for each initial concentration of BG5 (10, 15, 20 ppm) at 25°C. The results obtained with the amount of 0.05 g adsorbent give the highest  $q_e$  value for four different initial concentrations ( $C_0$ ) (Figure 4). For this reason, 0.05 g of adsorbent has been used for other temperatures (Figure 5).

The dye removal increased with increasing amount of adsorbent. As  $C_0$  increases, the amount of  $q_e$  and % adsorbed dye increases. The temperature difference did not cause a significant difference on the results. Therefore, the pH effect was only studied at 25 °C. For pH adjustment purposes, hydrochloric acid (0.1 M) and sodium hydroxide (0.1 M) solutions were prepared. The value of  $q_e$  ranges from 0.82 mg.g<sup>-1</sup> to 1.87 mg.g<sup>-1</sup> depending on the  $C_0$  values for different pH values.

The effect of initial solution pH on the adsorption capacity at equilibrium conditions is shown in Figure 6. The results show that increasing the values of pH from 5 to 9 does not affect the dye uptake capacity much.

Piecewise cubic interpolation method is used to fit the adsorption data. Three different plots are obtained using MATLAB®. Figure 4 shows the effect of  $C_0$  and the amount of the eggshell on the adsorption at 25°C. Figure 5 shows the effect of  $C_0$  and the temperature for 0.05 g adsorbent and Figure 6 shows the effect of  $C_0$  and pH for 0.05 g adsorbent at 25°C. From the figures, it can be said that the change of temperature, amount of adsorbent and pH values does not cause a significant difference on adsorption.

#### 3.2. Adsorption Isotherms and Error Function

Isotherm parameters and RMSE values are given in Table 2 and 3.

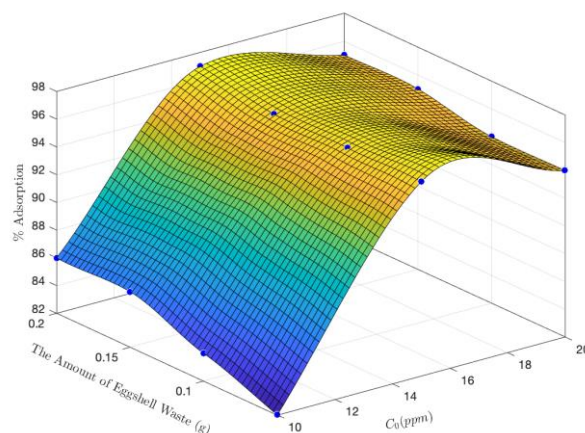


Figure 4. Effect of  $C_0$  (initial concentration) and amount of adsorbent on BG5 removal efficiency at 25°C.

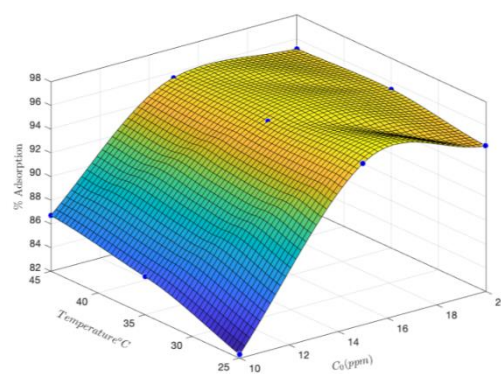


Figure 5. Effect of temperature and  $C_0$  on BG5 removal efficiency.

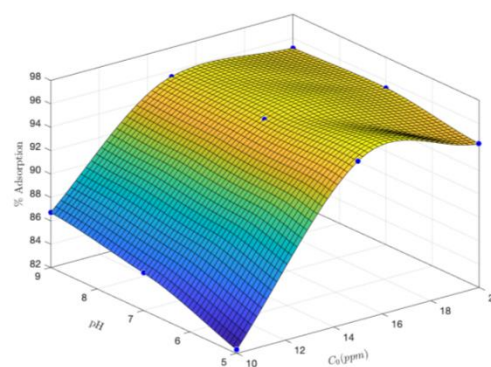


Figure 6. Effect of pH and  $C_0$  on BG5 removal efficiency (0.05 g adsorbent, 25 °C).

Table 2. Baudu isotherm parameters and error functions obtained for adsorption of BG5 onto calcined eggshell for different temperatures.

t, (°C)	q <sub>B</sub> (mg.g <sup>-1</sup> )	b <sub>o</sub>	x	y	RMSE
25	2.070	9.705	-6.992	0.869	0.002
35	1.927	9.337	6.427	-2.082	0.003
45	1.805	56.412	11.328	-2.525	0.005

Table 3. Fritz-Schlunder isotherm parameters and error functions obtained for adsorption of BG5 onto calcined eggshell for different temperatures.

t, (°C)	C (mg.g <sup>-1</sup> )	α	D	β	RMSE
25	7.9550	-3.7042	3.0748	-5.0374	0.001
35	9.0514	3.9086	4.0854	6.3000	0.003
45	8.7574	4.0672	3.8353	7.3387	0.002

### 3.3. Comparison with the Literature

Table 4 and 5 compares the results obtained with different adsorbents studied in the literature for BG5 and of different adsorption studies with eggshell waste, respectively.

Table 4. Comparison of BG5 adsorption with different adsorbents.

t, (°C)	Adsorbent	Isotherm	Max. adsorption capacity (mg.g <sup>-1</sup> )	Surface area (m <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> )	Amount of adsorption (g)	Initial concentration of BG5 (ppm)	Max. Adsorption (%)	Adsorp. time (mins)	Ref.
25	Chicken eggshell waste	Fritz-Schlunder	7.96	5.4	0.05	10	97	60	This study
35		Fritz-Schlunder	9.05						
45		Fritz-Schlunder	8.76						
Room temp.	Ag-NP-AC <sup>a</sup>	Langmiur	167	-	0.01	10-15	>98%	7	Ghaedi et al., 2014
	ZnO-NR-AC <sup>a</sup>	Langmiur	200	-			>96%	6	
25	Activated clay	Langmuir-Freundlich	345	278	1	700	80%	20	Shiau and Pan, 2005
	Montmorillonite	Langmuir-Freundlich	130	165					
	Commercial activated carbon	Langmuir-Freundlich	296	946					
50	Activated carbon from golden shower ( <i>Cassia fistula</i> )	Langmiur	531	903	0.025	730	78	420	Tran et al., 2017

<sup>a</sup>Ag-NP-AC: silver nanoparticles loaded on activated carbon; ZnO-NR-AC: zinc oxide nanorods loaded on activated carbon



Table 5. Comparison of the capacities of various adsorption processes carried out with eggshell-based adsorbents

Temperature (°C)	Adsorbate	Isotherm	Maximum adsorption capacity (mg.g <sup>-1</sup> )	References
35	Basic Green 5	Fritz-Schlunder	9	This study
	Pb <sup>2+</sup>		34	
25	Cd <sup>2+</sup>	Langmiur	15	Kim et al., 2019
	Cr <sup>3+</sup>		28	
“laboratory temperature”	Ag <sup>1+</sup>	Langmiur	56	Baláz et al., 2016
25	Methylene blue	Langmiur	0.8	Tsai et al., 2006
	Rhodamine B		1.99	
30	Eriochrome black T	Langmiur	1.03	Borhade and Kale, 2017
	Murexide		1.57	
25	Ni <sup>2+</sup>	Langmiur	109	De Angelis et al., 2017
45	boron	Freundlich	2.8	Al-Ghouti and Salih, 2018
25	phosphate	Freundlich	23	Köse and Kıvanç, 2011
	2,4-Dichlorophenol	Redlich-Peterson	0.34	
20	3,5-Dichlorophenol	Langmiur	0.32	Baláz et al., 2015
	Cadmium	Freundlich	32.5	
	Reactive dye	Redlich-Peterson	2.1	

## 4. Conclusions and Recommendations

In this study, calcined eggshell waste was used as adsorbent for the adsorption of BG5 dye from aqueous stream. Two of non-linear isotherm models (Baudu and Fritz-Schlunder) were applied to the experimental data and isotherm parameters were calculated. The Baudu and Fritz-Schlunder maximum adsorption capacity for all studied temperatures were calculated as about 2 and 9 mg.g<sup>-1</sup>, respectively. RMSE error values obtained were quite low (between to 0.001 and 0.005). The closer the RMSE value is to zero, the closer the model and experimental results are.

It was also shown that the change of temperature and pH values does not cause a significant difference on adsorption.

The optimum adsorbent (calcined eggshell waste) amount was calculated as 0.05 g for each initial concentration of the dye, and the maximum adsorbed percentage of dye is determined as 97.2062 % at 15ppm (C<sub>0</sub>) for 25 °C. Obtained results indicate that the calcined eggshell can be considered as a good, cheap alternative for adsorption of BG5 dye from aqueous solutions.

## 5. Acknowledgement

This work was a part of the project supported by Scientific Research Projects Coordination Unit of Istanbul University. Project number 55671 and YADOP/10662

## References

- Al-Ghouti M A, Salih N R 2018 Application of eggshell wastes for boron remediation from water. *Journal of Molecular Liquids*. 256, 599
- Ayawei N, Ebeleg A N, Wankasi D 2017 Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms, *Hindawi Journal of Chemistry*, 2017, 1
- Babuponnusami A, Velmurugan S 2017 Investigation on adsorption of dye (Reactive Red 35) on egg shell powder. *International Journal of ChemTech Research*. 10(1), 565
- Baláz M, Bujňáková Z, Baláz P, Zorkovská A, Danková Z, Briančin J 2015 Adsorption of cadmium(II) on waste biomaterial. *Journal of Colloid and Interface Science*. 454, 121.
- Baláz M, Ficeriová J, Briančin J 2016 Influence of milling on the adsorption ability of eggshell waste. *Chemosphere*. 146, 458
- Borhade A V, Kale A S 2017 Calcined eggshell as a cost effective material for removal of dyes from aqueous solution. *Appl Water Sci*. 7, 4255
- Dawood S, Sen T K 2014 Review on Dye Removal from Its Aqueous Solution into Alternative Cost Effective and Non-Conventional Adsorbents. *J Chem Proc Engg*. 1, 1.
- De Angelis G, Medeghini L, Conte A M, Mignardi S 2017 Recycling of eggshell waste into low-cost adsorbent for Ni removal from wastewater. *Journal of Cleaner Production*. 164, 1497
- Elabbas S, Mandi L, Berrekhis F, Pons M N, Leclerc J P, Ouazzani N 2016 Removal of Cr(III) from chrome tanning wastewater by adsorption using two natural carbonaceous materials: Eggshell and powdered Marble. *Journal of Environmental Management*. 166, 589

- Eletta O A A, Ajayi O A, Ogunleye O O, Akpana I C 2016 Adsorption of cyanide from aqueous solution using calcinated eggshells: Equilibrium and optimization studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 4, 1367
- Ersoy, B, Dikmen S. , Günay A., Evcin, A. 2014. Bazik Mavi-16 Boyarmaddesinin Kil Üzerine Adsorpsiyonu . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , 1 (2), 29-38. <https://dergipark.org.tr/pub/ejosat/issue/5382/73013>
- Ghaedi M, Karimi H, Yousefi F 2014 Silver and zinc oxide nanostructures loaded on activated carbon as new adsorbents for removal of methylene green: A comparative study. *Human and Experimental Toxicology*. 33(9), 956
- Giraldo L, Moreno-Piraján J C 2014 Study of adsorption of phenol on activated carbons obtained from eggshells. *J. of Analytical and Applied Pyrolysis*. 106, 41
- Hassan A A, Hassan Z A S 2013 Methylene blue removal from aqueous solution by adsorption on eggshell bed. *Euphrates J. of Agriculture Science*. 5 (2), 11
- Hosseini S, Babadi F E, Soltani S M, Aroua M K, Babamohammadi S, Moghadam A M 2017 Carbon dioxide adsorption on nitrogen-enriched gel beads from calcined eggshell/sodium alginate natural composite. *Process Safety and Environmental Protection*. 109, 387
- Kim D, Hwang S J, Kim Y, Jeong C H, Hong Y P, Ryoo K S 2019 Removal of Heavy Metals from Water Using Chicken Egg Shell Powder as a Bio-Adsorbent. *Bull. Korean Chem. Soc*. 40, 1156.
- Köse T E, Kıvanç B 2011 Adsorption of phosphate from aqueous solutions using calcined waste eggshell. *Chemical Engineering Journal*. 178, 34
- Laca A, Laca A, Diaz M 2017 Eggshell waste as catalyst: A review. *Journal of Environmental Management*. 197, 351
- Pettinato M, Chakraborty S, Arafat H A, Calabro V 2015 Eggshell: A green adsorbent for heavy metal removal in an MBR system. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 121, 57
- Pramanpol N, Nitayapat N 2006 Adsorption of reactive dye by eggshell and its membrane. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*. 40, 192
- Saadi R, Saadi Z, Fazaeli R, Fard N E 2015 Monolayer and multilayer adsorption isotherm models for sorption from aqueous media. *Korean J. Chem. Eng*. 32(5), 787
- Shiau C Y, Pan C C 2005 Adsorption of Basic Dyes from Aqueous Solution by Various Adsorbents. *Separation Science and Technology*. 39(8), 1733
- Singh K, Arora S 2011 Removal of Synthetic Textile Dyes from Wastewaters: A Critical Review on Present Treatment Technologies. *Environmental Science and Technology*. 41(9), 807
- Tran H N, You S J, Chao H P 2017 Fast and efficient adsorption of methylene green 5 on activated carbon prepared from new chemical activation method. *J. of Environmental Management* 188, 322
- Tsai W T, Yang J M, Lai C W, Cheng Y H, Lin C C, Yeh C W 2006 Characterization and adsorption properties of eggshells and eggshell membrane. *Bioresource Technology*. 97, 488
- Vital R K, Saibaba K V N, Shaik K B, Gopinath R 2016 Dye Removal by Adsorption: A Review. *J Bioremediat Biodegrad*. 7, 371



# Analysing of Nonlinear Advanced Equation in Dynamic System

Esen Hanaç<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Adıyaman University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Adıyaman, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5561-7495), [ehanac@adiyaman.edu.tr](mailto:ehanac@adiyaman.edu.tr)

(First received 8 October 2021 and in final form 6 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005848)

**ATIF/REFERENCE:** Hanaç, E. (2021). Analysing of Nonlinear Advanced Equation in Dynamic System. *European Journal of Science and Technology*, (31), 141-145.

## Abstract

We mainly examine the type of the structure of the solutions of the following equation namely,

$$u_t + kuu_x = u_{xx} + u^2(1 - u), \quad -\infty < x < \infty, \quad t > 0$$

where  $k \neq 0$  is a parameter occurrence in the long term by using dynamical system theory and exhibiting a phase-space analysis of its stable points. The critical points are identified depend on the solution of above equation in dynamic system. Then in parallel with the critical points eigenvalues and eigenvectors are determined and thus general solutions are written by depending on those found eigenvalues and eigenvectors. Thus, the structure of the critical points can be named in the phase-space. After some minor calculations are done, from one equilibrium point that enhancing from 0 to decreasing to 1 into the other and thus heteroclinic trajectory is demonstrated that supports the travelling wave solution to the equation. Then all points are indicated depending on properties of the structure of eigenvalues of the critical points in phase-space by using a generated matlab implementation. The result of the our work illustrates that the equation can confirm shock-wave solutions

**Keywords:** Phase-space analysis, Nonlinear advanced equation, Shock-wave solutions.

## Dinamik Sistemde İleri Nonlinear Denklemin Analizi

### Öz

Aşağıdaki denklemin

$$u_t + kuu_x = u_{xx} + u^2(1 - u), \quad -\infty < x < \infty, \quad t > 0$$

$k \neq 0$  bir parametre, sonuçlar yapısını dinamik sistemi ve sabit noktaların faz-uzay analizlerini kullanarak, uzun zamandaki oluşumunu inceliyoruz. Dinamik sistemde yukarıdaki denklemin çözümüne bağlı olarak kritik noktalar belirlenir. Daha sonra kritik noktalara paralel olarak özdeğerler ve özvektörler belirlenir ve böylece bulunan özdeğerler ve özvektörlere bağlı olarak genel çözümler yazılır. Böylece kritik noktaların yapısı faz uzayında isimlendirilebilir. Bazı küçük hesaplamalar yapıldıktan sonra, 0'dan 1'e artan bir denge noktasından diğerine doğru artan ve böylece heteroclinic yörüngenin denkleme giden dalga çözümünü desteklediği gösterilmiştir. Daha sonra üretilen bir matlab uygulaması kullanılarak faz uzayındaki kritik noktaların özdeğer yapısının özelliklerine bağlı olarak tüm noktalar belirtilir. Çalışmamızın sonucu, denklemin şok dalgası çözümlerini doğrulayabildiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Faz-uzay analizi, İleri nonlinear denklem, Dalga çözümleri.

\* Corresponding Author: [ehanac@adiyaman.edu.tr](mailto:ehanac@adiyaman.edu.tr)

### 1. Introduction

It is well known that obtaining analytical solutions of nonlinear partial differential equations has a significant role to define physical phenomena which are rising in several areas such as physics, biology, chemistry and engineering (Cross and Hohenberg, 1993; Dee and Langer, 1983; Bramson, 1983; Burgers, 1939; Burgers, 1940; Burgers, 1975; Van Saarloos, 2003). Many different methods have been applied to determine the analytical wave solutions to nonlinear equations for many years science (Behzadi and Araghi, 2011; Bramson, 1983; Burgers, 1939; Burgers, 1940; Burgers, 1975; Van Saarloos, 2003 ). Numerous nonlinear equations have an extensive area of applications in fluid mechanics, chemical and plasma physics and so on. One of those equations is the generalized Burgers-Fisher equation,

$$u_t + \delta u^n u_x = \epsilon u_{xx} + \vartheta u(1 - u^n) \tag{1}$$

where  $\delta, \epsilon, \vartheta$  in real number and  $n > 0$  is constant. Some analytic accurate travelling wave solutions of the equation (1) have been demonstrated by applying different methods. When  $\delta$  is counted as 0 the equation (1) is reduced to the Fisher-KPP equation which has been studied by many authors science (Behzadi and Araghi, 2011; Bramson, 1983; Burgers, 1939; Burgers, 1940; Burgers, 1975; Van Saarloos, 2003 ). When  $\vartheta$  is counted as 0 the equation (1) is reduced to the generalized Burgers equation. Many scientists in different area have given an enormous effort to the generalized Burgers equation to find the exact travelling wave solutions of it through the years due to its value in science. Despite of the methods used in those equations to solve travelling wave solutions of them the dynamical attitude of the ordinary differential equation forms of the equation (1) or reduced forms of (1) have not been taken as consideration. In this paper, the dynamic system of a modified form of the equation (1) given as

$$u_t + kuu_x = u_{xx} + u^2(1 - u) \tag{2}$$

where  $k \neq 0$  is a parameter, has been considered. We hope to find a travelling wave solution occurrence which is corresponded by a heteroclinic orbit in phase space. Therefore we examine the phase plane analysis of the dynamic system of ode form the equation (2) and give exact solution for the equation (2) in the section 2. In the latter section, we analyse the dynamical system of the ode form of the equation (2) numerically and represent numerical solution and exact solution in same graph. In the last section we conclude our work and give a summary of our results.

### 2. Dynamical system

In this section we first substitute the transformation given below into the equation (2)

$$s = x - ct \quad u = U(s) \tag{3}$$

where  $c$  is the wave speed and we get that

$$-cU_s + kUU_s = U_{ss} + U^2(1 - U). \tag{4}$$

The dynamical system of the equation (4) is obtained on writing  $U_s = V$  and we have

$$\begin{aligned} U_s &= V \\ V_s &= -cV + kUV - U^2(1 - U). \end{aligned} \tag{5}$$

The dynamical system (5) has two equilibrium points at P:(0,0) and R:(1,0). We require a monotone solution in  $0 \leq U \leq 1$  with  $U_s(s) \leq 0$ . We next classify the equilibrium points by linearization. According to the theory of the dynamic system, if eigenvalues of the equilibrium point are both less than 0, the equilibrium point is stable node; If eigenvalues of the equilibrium point are both greater than 0, the equilibrium point is unstable node; If eigenvalues of the equilibrium point have different sign, the equilibrium point is saddle node. We first consider the equilibrium point P:(0,0). The associated linear system and the jacobian matrix of the system are given by

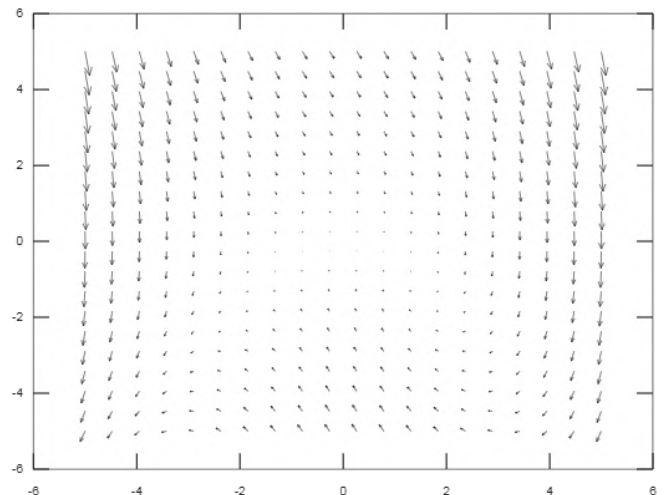
$$\begin{aligned} U_s &= V \\ V_s &= -cV - U^2 \end{aligned} \tag{6}$$

$$A^+ = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2U & -c \end{bmatrix}.$$

Eigenvalues of the jacobian matrix  $A^+$  and associated eigenvectors are given by

$$\begin{aligned} \rho_1 &= 0 & \rho_2 &= -c, \\ v_1 &= \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} & v_2 &= \begin{pmatrix} 1 \\ c \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Because of one eigenvalue is zero the other one determine the model of node in phase plane. So we consider the eigenvalue  $-c$  which decays to 0 and shows stable node. Figure 1 displays the (U,V) phase plane in the neighbourhood of the equilibrium point P:(0,0). The stable node is clearly displayed on the figure.





**Figure1.** Vector flow for the system (6)

We next consider the equilibrium point R:(1,0). On writing  $\tilde{U} = U - 1$  and  $\tilde{V} = V$  the associated linear system of the equilibrium point R:(1,0) and the jacobian matrix of the system are obtained

$$\begin{aligned} \tilde{U}' &= V \\ \tilde{V}' &= \tilde{U} + (k - c)\tilde{V} \end{aligned} \quad (7)$$

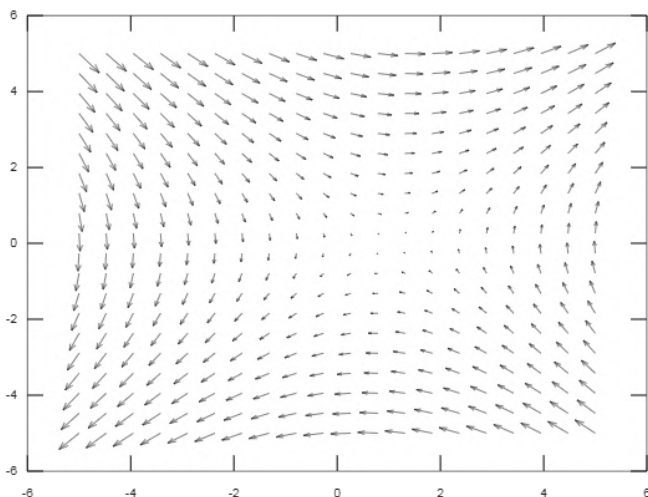
$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & k - c \end{bmatrix}.$$

Eigenvalues of A and associated eigenvectors are given by

$$p_{\pm} = \frac{(k - c) \pm \sqrt{(k - c)^2 + 4}}{2},$$

$$v_{\pm} = \begin{pmatrix} 1 \\ \rho_{\pm} \end{pmatrix}.$$

Now since  $\rho_+ > 0 > \rho_-$  the point R:(1,0) is a saddle point. The solution of our modified Burger-Fisher equation germinate to shock wave in three specific values of c. The first case while  $c=k-2$  with  $k > 2$  then the fixed point R:(1,0) exhibits saddle node. The latter case is while  $c=k+2$  with  $k > 0$  then the fixed point R:(1,0) exhibits saddle node too. The last one is when  $c = \frac{k}{2} + \frac{2}{k}$  with  $k \geq 2$  and again the fixed point R:(1,0) exhibits saddle node. Therefore, the Linearization Theorem indicates that point R:(1,0) is a saddle point for nonlinear system. Figure 2 displays the (U,V) phase plane in the neighbourhood of the equilibrium point R:(1,0). The unstable manifold entering the region where  $V < 0$  is clearly displayed in the figure.



**Figure2.** Vector flow for the system (7)

We note from linear system (5)  $\frac{d}{dc} \left( \frac{dV}{dU} \right) = -1$  the phase plane rotates clockwise for increasing c. We further note that a close exact solution of the system (5) exists and is given by

$$U(s) = 1 - \frac{2}{1 + B e^{-(1+2\sqrt{2})z}}$$

$$U(s) \sim \begin{cases} \sim 1 - \frac{1}{B} e^{cz} & z \rightarrow -\infty, \\ \sim B e^{-cz} & z \rightarrow \infty, \end{cases} \quad (8)$$

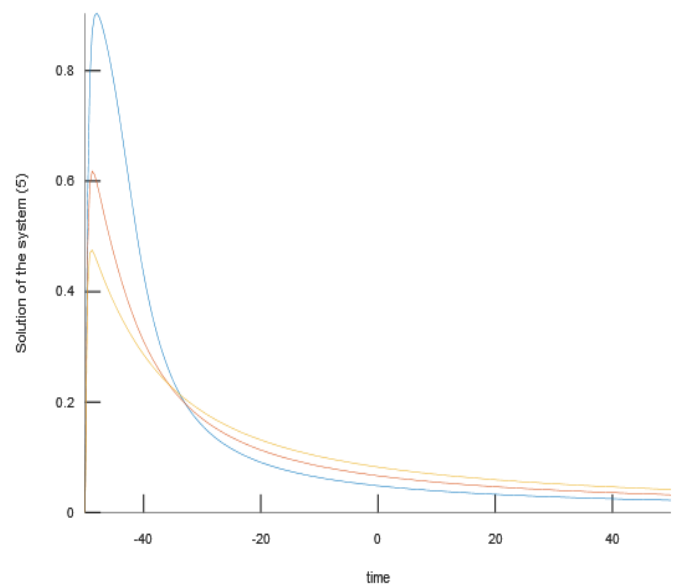
where B is constant and when  $c=k-2$ ,  $k+2$  and  $\frac{k}{2} + \frac{2}{k}$ . All from these solutions the phase path is determined for  $s = x - ct$  joining the fixed points P:(0,0) and R:(1,0) and that gives a heteroclinic connection between the equilibrium points for these three chosen wave speed c.

### 3. Parabolic Method

We practice numeric techniques for clarifying this model and comparing its closed form solution with shock wave solution of the equation (2). We practise parabolic method to get numeric explication of the equation (2). For further details about the method the references (Griffiths and Schiesser, 2009; Griffiths and Schiesser, 2010; Landejuela, 2011; Hanaç, 2021) is cited to read for who is interested in. After some computations we get the numeric style of equation like,

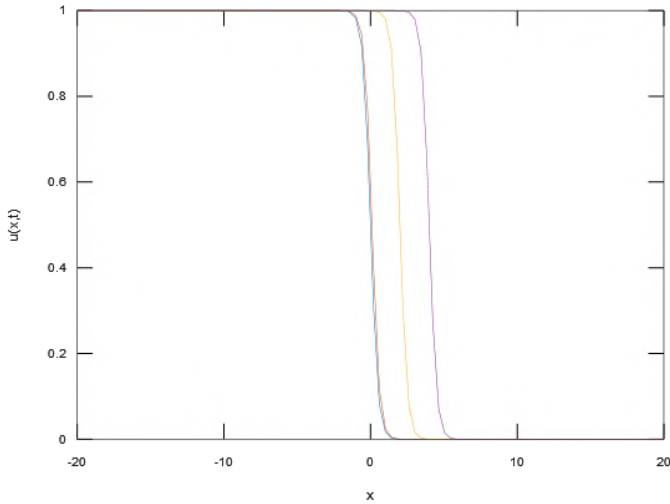
$$U_j^{n+1} = U_j^n + \Delta t \left( \frac{U_{j+1}^n - 2U_j^n + U_{j-1}^n}{\Delta x^2} + k \frac{U_{j-\frac{1}{2}}^n - U_{j+\frac{1}{2}}^n}{\Delta x} + \varepsilon_j^n(x)(1 - U_j^n) \right) = 0$$

where  $\varepsilon_j^n(x)$  refers to as  $u^2(x)$ . In Figure 3 exact solutions to the Burger Fishers model exhibits for c which is chosen specifically.



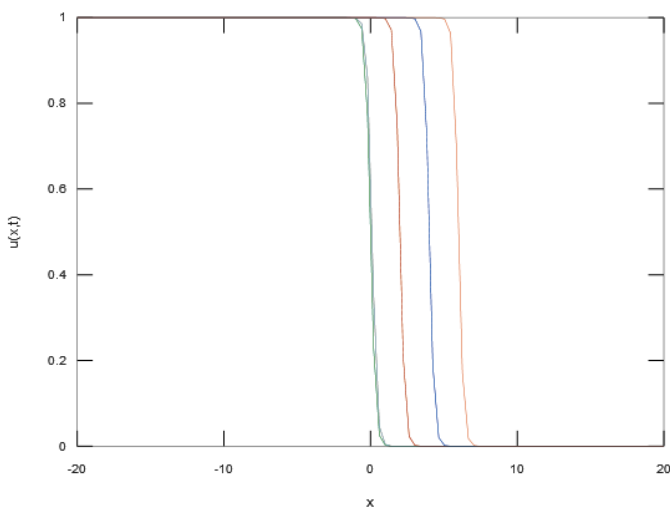
**Figure3.** Exact solutions for dissimilar values of c is shown in the physical plane. Figure also displays the shock wave portraits U(s) that encounter (8).

We portray the numerical finding out of the equation (2) with choosing  $N^*$  grid point equals to 250,  $\Delta t = .5$  and the exact solution (8) for the wave speed  $c=k-2$  with  $k>2$ . In Figure 4 the shock wave solution of the equation(2) with waving accelerate  $c=k-2$  is observed to grow quickly as  $t \rightarrow \infty$  and the red line is represented by the exact solution and the overlap one that blue line is represented by the numeric result, sustains that time dependant solution gets close form of the exact solution fairly rapid.

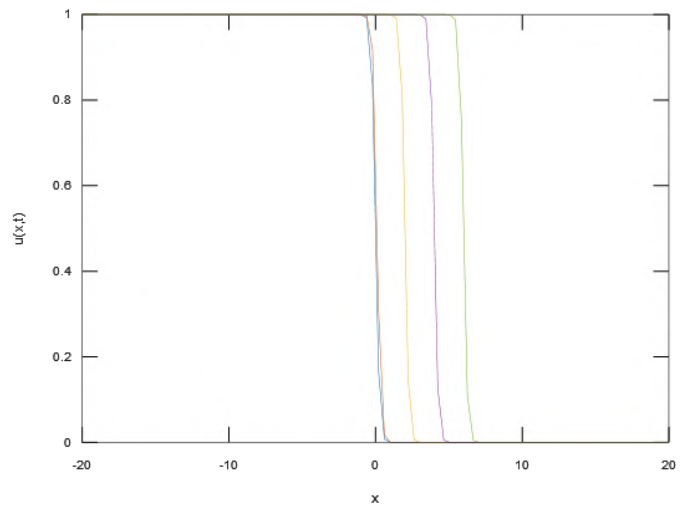


**Figure4.** Chart of exact solution (red line) and the numerical solutions of the equation (2) at times  $t = 0, 2, 4$ .

Besides in the Figure 4 we portray the numerical finding out of the equation (2) with choosing  $N^*$  grid point equals to 250,  $\Delta t = .5$  and the exact solution (8) for the wave speed  $c=k+2$  and  $c=\frac{k}{2} + \frac{2}{k}$  respectively. In Figure 5 and 6 the shock wave solution of the equation(2) with waving accelerate  $c= k+2$  and  $c=\frac{k}{2} + \frac{2}{k}$  respectively reveal intensely good agreement between exact solutions and numeric results.



**Figure5.** Chart of exact solution (green line) and the numerical solutions of the equation (2) at times  $t = 0, 2, 4, 6$ .



**Figure6.** Chart of closed form of exact solution (red line) and the numerical solutions of the equation (2) at times  $t = 0, 2, 4, 6$ .

## 4. Conclusion

In this paper, we search the Burger Fisher equation with the modified advection part and parameter  $k \neq 0$  (2) in dynamic theory. We review the dynamic behaviour of shock wave solutions of the equation (2) applying linearization theorem. We reach phase path and indicate joinning orbit occurrence which provides soliton solutions. Lastly, we apply parabolic method to get numerical solutions of the equation (2) and compare with exact solution in same distance  $x$  with time intervals for waving accelerate  $c=k-2$   $c=k+2$  and  $c=\frac{k}{2} + \frac{2}{k}$  respectively. The equation with the modified advection part and parameter  $k \neq 0$  mathematical model form has shock wave solutions for three specific value of  $c$ . Mathematical model of the modified form ensures a simple physical version, for an exact solution with  $c = k - 2$ , with  $c$  less than 2 on the pretense of unphysical (Canosa, 1973; Edelstein-Keshet, 2005; Fisher, 1937; Kolmogorov et al, 1937; Kot, 2003; Murray, 2002 ).

## References

- Behzadi, S.S and Araghi, M.A.F., (2011). Numerical Solution for Solving Burgers-Fisher Equation by Using Iterative Methods. Mathematical and Computational Applications 16, 443-455. <https://doi.org/10.3390/mca16020443>
- Bramson, M.D., (1983). Convergence of solutions of the Kolmogorov equation to travelling waves. Mem. Amer. Math. Soc. 44. ISBN: 978-1-4704-0695-0
- Burgers, J.M., (1939). Mathematical examples illustrating relations occurring in the theory of turbulent fluid motion. Verh. Nederl. Akad. Wetensch. Afd. Natuurk. 17, 1-53. <https://www.dwc.knaw.nl/DL/publications/PU00011461.pdf>
- Burgers, J.M., (1940). Application of a model system to illustrate some points of the statistical theory of free turbulence. Proc. Kon. Nederl. Akad. Wetensch. 43, 2-12.
- Burgers, J.M., (1975). The Nonlinear Diffusion Equation. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.

- Fisher, R.A., (1937). The wave of advance of advantageous genes. *Annals of Eugenics*. 7 355-369. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1937.tb02153.x>
- Griffiths, G., Schiesser, W. E., (2009). *A Compendium of Partial Differential Equation Models*. Cambridge University Press doi:10.1017/CBO9780511576270
- Griffiths, G., Schiesser, W. E., (2010). *Travelling Wave Analysis of Partial Differential Equations*. Academic Press. ISBN: 978-0-12-384652-5
- Hanaç, E. (2021). The Stability of A modified form of Reaction Diffusion Equation in Phase Plane. <https://doi.org/10.31590/ejosat.920615>
- Kolmogorov, AN, Petrovskii, PG, Piskunov, NS. (1937). A study of the diffusion equation with increase in the amount of substance, and its application to a biological problem. *Moscow University Mathematics Bulletin*. 1 1-26.
- Kot, M., (2003). *Elements of Mathematical Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511608520>
- Landejuela, M., (2011). *Burgers Equation*. BCAM Internship report: Basque Center for Applied Mathematics.
- McKean, H.P., (1975) . Application of Brownian motion to the equation of Kolmogorov-Petrovskii-Piskunov. *Comm. Pure Appl. Math.*28, 323-331. <https://doi.org/10.1002/cpa.3160280302>
- Murray, JD. (2002). *Mathematical Biology I: An Introduction*. Third edition, Springer, New York. ISBN 978-0-387-22437-4
- Van Saarloos, W., (2003). Front propagation into unstable states. *Phys. Rep.*386, 29-222.



# Bir Tekstil Fabrikasının Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi

Yusuf Başoğul<sup>1\*</sup>, Taha Tuna Göksu<sup>2</sup>, M. Fırat Baran<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9668-6654>),

[ybasogul@adiyaman.edu.tr](mailto:ybasogul@adiyaman.edu.tr)

<sup>2</sup> Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye (ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2028-3362>),

[tgoksu@adiyaman.edu.tr](mailto:tgoksu@adiyaman.edu.tr)

<sup>3</sup> Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği, Siirt, Türkiye (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7657-1227>), [fiirat.baran@siirt.edu.tr](mailto:fiirat.baran@siirt.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 08 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 15 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1006302)

**ATIF/REFERENCE:** Başoğul, Y., Göksu, T.T., Baran, M.F. (2021). Bir Tekstil Fabrikasının Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 146-150.

## Öz

Artan sera gazlarının çevreye etkisinin araştırılmasında en önemli faktör ve parametrelerden biri karbon ayak izidir. Dünya genelinde kişi başlı azaltılmaya çalışılan bu parametre için fabrikalar ve özellikle de tekstil fabrikaları büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Adıyaman ilinde faaliyet gösteren bir tekstil fabrikasının karbon ayak izi değerlendirilmesi yapılmıştır. Verileri toplama ve değerlendirme tekniklerinin başında gelen ve çalışmaya uygunluğu da gözlemlenen Tier-1 metodu karbon ayak izi değerlendirmesinde kullanılmıştır. Tekstil fabrikasının servis aracı/dizel tüketimi, doğal gaz tüketimi, elektrik tüketimi, atık su başlı faktörleri sırasıyla 5,475 lt/yıl-dizel, 55,200 m<sup>3</sup>, 456,000 kWh/yıl, 4,900 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Belirtilen veriler tekstil fabrikasının 300 gün için çalıştığı farz edilip reel verilerle hesaplanmıştır. Tier-1 metoduna uygun olarak yapılan hesaplamalar sonucunda tekstil fabrikasının karbon ayak izi 297,343 ton CO<sub>2</sub>/yıl olarak hesaplanmıştır. Burada en önemli etkiyi elektrik tüketimi gösterirken en az etkiyi ise atık su göstermiştir. Türkiye'deki tekstil fabrikalarının karbon ayak izi değerlendirmesine önemli bir ışık tutan bu çalışma tekstil fabrikalarının karbon ayak izinin sera gazlarındaki önemli derecede olan etkisini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon Ayak İzi, Tekstil Fabrikası, Tier-1, Sera Gazı

## A Case Study on the Assessment of Carbon Footprint of a Textile Factory

### Abstract

The crucial factor in the future of increasing greenhouse gases is the carbon footprint. It is of great importance for these factories around the world. In this study, the carbon footprint of a textile factory operating in Adıyaman province was evaluated. Tier-1, which is one of the primary data collection and techniques, was used in the footprint evaluation. The service vehicle/diesel consumption, natural gas consumption, electricity consumption, wastewater of the textile factory were calculated as 5,475 lt/year-diesel, 55,200 m<sup>3</sup>, 456,000 kWh/year, 4,900 m<sup>3</sup>, respectively. The carbon footprint of the textile factory was calculated as 297,343 tons CO<sub>2</sub>/year in the programming made by the Tier-1 method. Here, the most important effect is electricity consumption, while the least effect is caused by wastewater. This study, which sheds important light on the carbon footprint assessment of textile factories in Turkey, shows a large amount of greenhouse gases at the carbon footprint of textile factories.

**Keywords:** Carbon Footprint, Textile Factory, Tier 1, Greenhouse Gas



## 1. Giriş

İnsanoğlu ihtiyaçlarını karşılamada daima doğal kaynaklardan faydalanmıştır. Bugün nüfusun artmasıyla birlikte, bireylerin bilinçsizce ve sürdürülebilirlikten uzak tüketim anlayışı nedeniyle dünyamız üzerindeki doğal kaynaklar azalmakta ve yakın bir gelecekte tükeneceği varsayılmaktadır (Baran ve et al., 2019). Enerji üretimi, tüketimi ve bunun sonucu olan karbon ayak izi gibi parametreler günümüzün en önemli konusu olup üretilen karbon ayak izi miktarının etkisi günümüz dünyasının en önemli yapı taşı haline geldiği aşikârdır. Enerji üretilirken en önemli parametre küresel ısınmaya sebep olan faktörlerden biri olan sera gazıdır ve giderek bu gazın salınımı da artmaktadır. En yaygın sera gazı salınan miktar ve küresel ısınma üzerindeki toplam etkisi bakımından insan faaliyetleri tarafından yayılan karbondioksit (CO<sub>2</sub>)'dir (Blander, 2012; Oruk and Baran, 2021). Ayrıca salınımın artmasına neden olan parametrelerin başında fosil yakıtlı hidrokarbonların tüketimi gelmektedir. Küresel ısınmaya karşı oluşturulan KYOTO protokolü ve Paris İklim anlaşması kapsamında, küresel ısınmaya sebep olan karbon ayak izi hesaplaması büyük önem kazanmış olup bu konuda birçok alanda karbon ayak izi değerlendirilmesi yapılmıştır. Bunların en önemlileri gıda, tekstil vs gibi fabrikalar yer almaktadır (Başoğlu & Göksu, 2021).

Tekstil sektöründeki enerji, ekolojik ve Karbon Ayak İzi (KAİ) genel hatlarıyla değerlendirilmiştir (Athalye, 2016). Tekstil sektöründe karbon ayak izi üzerine yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara göre sera gazına en büyük etkinin elektrik ve termal enerjisinden kaynaklandığı gözlemlenmiştir (Bevilacqua et al., 2011).

İsveçte yaşam döngüsü değerlendirme analizinde (LCA) %50 pamuk ve %50 polyesterden oluşan bir model atık için 3 farklı geri dönüşüm tekniği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yanmanın en yüksek küresel ısınma potansiyeline etkisi olduğunu ve birincil enerji kullanımına sahip olduğunu göstermektedir. Verilere göre malzemenin yeniden/geri kullanım süreci, 8 ton CO<sub>2</sub>/ton kaybını engellemekle birlikte ve 164 gigajoule (GJ)/ton tekstil enerji tasarrufu sağlamıştır. Belirtilen geri dönüşüm süreçleri düzgün entegre edildiği durumda 1 ton tekstilden kaybının karşılığı olan 10 ton CO<sub>2</sub> olan ve 169 GJ enerji kaybı engellemiş olur (Zamani et al., 2015).

Paris Anlaşması kapsamında 2050 yılına kadarki süreçte Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi kullanılarak Fransadaki tekstil üreticilerinin KAİ'si hesaplanmıştır. Buna göre bir Fransız vatandaşının KAİ'si bir yılda 442 kilograma kadar ulaştığı gözlemlenmiştir. Amaç ise KAİ'yi 6 faktör azaltmak (74 kg CO<sub>2</sub>eq/kişi/yıllık tekstil) ve bu kapsamda şunlar denenmiştir: düşük karbonlu elektrik karışımına sahip bir ülkede enerji üretim süreçlerinin kurulması, satılmamış mallardan kaçınmak, ekotasarım yaklaşımlarını uygulayarak ve yeniden kullanım veya geri dönüşüm ile ömrünü tamamlamış ürünlerin değerini artırmaktır. Elde edilen sonuçlara göre belirtilen süreçler uygulandığında KAİ miktarı 43 kg CO<sub>2</sub>/yıl'a düşürülmüştür (Payet, 2021).

Tekstil sektöründe ekolojik ve KAİ'yi azaltmak için birçok çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda önemli çalışma ve sonuçlardan biri de 3R tekniğinin önerilmesidir. 3R tekniği veya KAİ azaltma yönteminin içeriği şu şekildedir: 1. Geri dönüşüm veya yeniden kullanım yolu (burada önemli olan nokta ulaşım sektöründeki kullanımımızdır) 2. tekstil çamurunun besin değeri de dahil olmak üzere tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atık yönetimi 3.

tarımsal sulamada kullanılacak atık su şeklindedir (Rathore & Singh, 2019).

Çin'de tekstil sektöründe üretilen saf pamuklu gömleklerin KAİ'ye dair yapılan araştırma sonuçlarına göre ortalama saf pamuklu gömleğin KAİ'si 8.771 kgCO<sub>2</sub> olarak elde edilmiştir. Bulunan KAİ'nin 0.347 kgCO<sub>2</sub> si doğrudan olmakla birlikte geri kalan ve büyük çoğunluğunu oluşturan kısmı ise dolaylı yoldan olduğu gözlemlenmiştir. Saf pamuklu gömleğin üretimdeki süreçte KAİ'ye en büyük etkiyi elektrik tüketiminin yaptığını gözlemlenmiştir (Wang et al., 2015).

Tekstil atıklarının geri dönüşümü sağlanarak KAİ'yi düşürme çabaları da tekstil sektöründe KAİ'yi olabildiğince azaltabilmek için önemlidir. Bu kapsamda SIMAPRO 7.3 versiyonu kullanılarak KAİ'ye etkisi araştırılmıştır (Muthu et al., 2012).

Tekstil sektöründe ürün üretim süreçlerinde KAİ'ye etkinin yüksek olduğu gözlemlendiği gibi üretim proseslerinde deri ile temas eden ürünün sağlığa direkt etkisinin de olduğu aşikârdır. Bu proseslerdeki tehlikeli çözücülerin ortadan kaldırılması, çevre dostu kimyasalların kullanımı, toksik boyaların kullanılmaması ve yaş işlemede suyun yeniden kullanımı gibi faktörler hem KAİ'yi azaltırken hem de ekolojik bir dönüşüm sağlamada önemli etki yapmaktadır (Jain, 2017).

Çin'de 2016 yılı verilerine göre altıncı en büyük enerji tüketim kapasitesinin tekstil sektöründe olduğu gözlemlenmiştir. Bu veri beraberinde sera gazlarını gündeme getirmektedir. Elde edilen sonuçlara göre bu alanda sera gazlarının ana kaynağının kömür olduğu anlaşılmıştır. Kömürden sonra, Doğu Çin, Orta Çin ve Kuzey Çin gibi bölgelerdeki elektrik şebekelerinden gelen elektrik tüketimi de önemli derece etki yaptığı gözlemlenmiştir. Eğer, eğirme, dokuma ve ıslatma gibi işlemlerde kullanılan önlemlerin artırılması durumunda 2030 yılı tahmin senaryosuna göre %34.3 daha az olacağı gözlemlenmiştir (Huang et al., 2017).

Sera gazı emisyonlarının yüksek olduğu tekstil sektörünün 2014-2017 yılları arasındaki etkisinin araştırıldığı çalışmanın sonuçlarına göre 2014 yılındaki karbon ayak izinin 42867.72 tCO<sub>2</sub>e olduğu görülmüştür (Akhtar et al., 2017).

Çin'de yünlü ve pamuklu kumaşların üretim aşamasındaki KAİ'si araştırıldığında ortaya çıkan sonuçlara göre saf yünlü kumaşların, karışimli yün-polyester kumaşların ve pamuklu kumaşların KAİ'si 14.07 kgCO<sub>2</sub>e/kg, 13.55 kgCO<sub>2</sub>e/kg ve 5.34 kgCO<sub>2</sub>e/kg olduğunu hesaplamışlardır. Elde edilen diğer sonuçlara göre dokumadan önce boyanan kumaşın KAİ'sinin sonradan boyanana göre %70.8 da yüksek olduğu ayrıca düz dokuma işlemi ile üretilen kumaşın KAİ'sinin rib ile üretilene göre %76.2 daha fazla olduğunu gözlemlenmiştir (Yan et al., 2016).

Literatürden de anlaşıldığı üzere bu çalışmada enerji tüketen proseslerin en önemlilerinden biri olan tekstil sektöründeki karbon ayak izine dair bir araştırma yapılmıştır. Bu bağlamda verilen örnek Adıyaman ilindeki önemli bir tekstil üretim fabrikasıdır. Bütün veriler fabrikanın 300 gün çalıştığı farzedilerek fabrikadan alınmıştır. Sunulan araştırma makalesinin Türkiyede tekstil fabrikalarının karbon ayak izi değerlendirmesine önemli bir ışık tutacağı öngörülmektedir.

## 2. Materyal Ve Yöntem

Bu araştırma makalesinde Adıyaman ilinde tekstil üretimi yapan bir fabrikanın reel verileri kullanılmıştır. Belirtilen tekstil fabrikasının KAİ'ye neden olan faktörleri; elektrik tüketimi,

doğal gaz tüketimi, servis aracı, atık su ve endüstriyel atık şeklindedir. Fabrikadaki üretim bandında meydana gelen endüstriyel atıklar karbon emisyonuna önemli bir etki yapmaktadır. KAİ, herhangi bir ürünün üretim hattı boyunca ve bazen de ömrünü tamamlanma süreci olduğu durumdaki geri kazanımı ve ortadan kaldırılmasıyla ilgili olarak karbondioksit ve diğer sera gazı emisyonlarının toplam miktarını ifade etmektedir (JRC, EC, 2007). KAİ hesaplanmasında ve değerlendirilmesinde kullanılan uygun metod: Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin oluşturduğu Tier yaklaşımlarıdır. IPCC programı vasıtasıyla hesaplanan emisyonlar belirsizlikler de katılarak "Ulusal Sera gazı Emisyon Envanteri Raporu'ndaki" programdaki Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 yaklaşımlarına göre değerlendirilmektedir. (Eggleston et al., 2006).

Sunulan araştırma makalesinde; Adıyaman ilinde üretim yapan önemli bir tekstil fabrikasının KAİ belirlenmesi amacıyla hesaplanıp doğal gaz tüketimi, servis aracı, atık su ve endüstriyel atık emisyonlar değerlendirilmiş ve bunların küresel ısınmaya etkisi vurgulanmıştır. CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O ve CH<sub>4</sub> gibi gazlar karbon ayak izi hesaplamalarında önemli bir yer teşkil etmektedir. Belirtilen gazların küresel ısınma potansiyelleri (KIP) IPCC Raporuna göre sırasıyla 1, 28 ve 265'tir (Stocker vd. 2014). IPCC' nin hesaplama metodolojisine uygun formül ( $CF = AD \times EF$ ). Belirtilen formülde CF (karbon ayak izi); elektrik tüketimi, doğal gaz tüketimi, gidilen yol sonucu harcanan dizel veya benzin miktarı vs. gibi faaliyetler sonucu herhangi bir fabrikanın veya işletmenin atmosfere yaydığı hava kirleticilerinin karbondioksit eşdeğeri (CO<sub>2</sub>e) türünden miktarını, AD (faaliyet verisi); bir proses tarafından tüketilen veya üretilen yakıt veya maddelere ilişkin veriyi, EF (emisyon faktörü); belirli bir kirleticinin birim değeri (hacim, kütle, zaman, alan vb.) için ortalama emisyon miktarını göstermektedir. Çizelge 1 de tekstil üretim bandının yıl bazında olan faaliyetlerin verileri gösterilmiştir. Alınan veriler fabrikanın 2020 yılındaki tüketim miktarıdır. Verilen değerler tekstil fabrikasının yıllık ortalama 300 gün çalıştığı durum için geçerlidir.

Çizelge 1. Tekstil Fabrikasının Faaliyetlerine Dair Veriler

Faaliyet Verisi	Birim	Miktar
Elektrik Tüketimi	kWh/yıl	456,000
Dizel Tüketimi	lt/yıl-dizel	5,475
Atık su	m <sup>3</sup>	4,900
Doğal Gaz	m <sup>3</sup>	55,200

Çizelge 1'deki verilerden anlaşıldığı üzere faaliyet verileri 4 ana başlıkta sıralanmıştır. Bunlar, elektrik, doğal gaz ve dizel tüketiminden kaynaklı ve ayrıca atık sudan oluşmaktadır. İhmal edilebilecek düzeydeki enerji kayıpları hesaplamalara katılmamıştır.

### 3. EMİSYON FAKTÖRLERİ

Emisyon faktörlerinin hesabında Elektrik Tüketimi/Toplam Elektrik Tüketimi (ET veya TET), Yol (Servis aracının dizel veya benzin tüketimi), Atık Su/Toplam Atık Su Miktarı (AS veya TASM), Endüstriyel Atık (EA) gibi faktörler başlıcalarıdır. Karbon ayak izi hesabında kullanılan Emisyon faktörlerini

değerlendirme-hesaplama metodu ve bu faktörlerin denklemleri aşağıda belirtildiği gibidir.

ET: 2018 yılı Enerji Bakanlığı'nın elektrik tüketimi için emisyon faktörü verisi kullanılmıştır.

$$\text{Elektrik CO}_2\text{-e} = \text{EF (CO}_2\text{)} \times \text{TET (KWh)}$$

Ulaşım-Yol: Kullanılan yakıt dizeldir. 2011 yılındaki Avrupa standardında sera gazının hesabı kullanılmıştır.

$$\text{Dizel-CO}_2\text{-e} = \text{EF (CO}_2\text{-e)} \times \text{Tüketim (lt)}$$

AS: Atık suyun bileşiminde kirleticilere ek olarak hidrokarbonlarda bulunmakta olup bunları niteliği farklılık taşımaktadır. Atom numaralarına ve derişimlerine göre kimyasal formülü C<sub>10</sub>H<sub>19</sub>O<sub>3</sub>N'dir.

CO<sub>2</sub> hesaplama:



$$\text{CO}_2\text{-Atık su} = ( \text{KOİ (Kimyasal Oksidasyon İhtiyacı)} ) - ( \text{KOİ- (Yönetmelik} \times ( \text{CO}_2\text{mol/O}_2\text{mol)} \times 10/12.5 \times \text{TASM}$$

CH<sub>4</sub> hesaplama:

AS içinde barındığı veya çözülmüş olarak ya da uğradığı prosesler sonrasında CH<sub>4</sub> gazı da meydana gelmektedir.

$$\text{EF (CH}_4\text{) atık su} = 11,5 \text{ g CH}_4\text{/kg KOİ- (Gülhan et al., 2018)} \times \text{KIP (CH}_4\text{)}$$

$$\text{Emisyon CO}_2\text{-e (CH}_4\text{- atık su)} = \text{EF (CH}_4\text{) AS} \times \text{TASM}$$

N<sub>2</sub>O hesaplama:

N<sub>2</sub>O (diazotoksit-nitrozoksit) ön arıtmadan sonra veya biyolojik arıtım prosesi geçtikten sonraki değerlendirilen AS çamurunda diğer gazlara göre oluşmaktadır. Burada İSKİ çalışmasında kullanılan örnek 9 tesisin değerleri baz alındı. Buna göre

$$\text{TASM: } 499,619,300 \text{ m}^3$$

Toplam oluşan N<sub>2</sub>O emisyonu 698,085,000 CO<sub>2</sub>-e gr ise

$$\text{EF (N}_2\text{O atık su CO}_2\text{-e)} = 1,397 \text{ g/m}^3 \text{ CO}_2\text{-e (Gülhan et al., 2018)}$$

$$\text{Emisyon (N}_2\text{O atık su CO}_2\text{-e)} = \text{EF (N}_2\text{O Atık su CO}_2\text{-e)} \times \text{TASM}$$

$$\text{EA: EF (CO}_2\text{-e)çöp} = \text{EF(CH}_4\text{) (Turhan \& Tolunay, 2017)} \times \text{KIP} \times \text{Toplam Katı Atık Miktarı (TKAM) (kg)}$$

$$= 128.9/193.6 \times 25 \times \text{TKAM (kg)} = 16,645 \text{ kg/kg} \times \text{TKAM (kg)}$$

Verili denklemlere göre hesaplanan Emisyon faktörleri Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Emisyon faktörleri

Faaliyet verisi	Emisyon Faktörü
Elektrik tüketimi	381.2 g/KWh
Servis aracı-Dizel Tüketimi	2,900 g/lt
Doğal gaz	1,814.971 g/m <sup>3</sup>
Atık su	1,520.897 g/m <sup>3</sup>
Endüstriyel atık	16,645 kg/kg

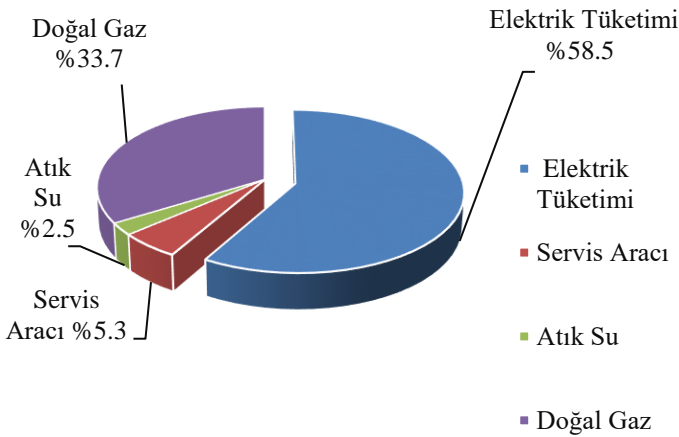
#### 4. Bulgular Ve Tartışma

Tekstil üretimi yapan fabrikanın faaliyet verileri Çizelge 1’de ve ayrıca bu fabrikanın emisyon faktörleri de Çizelge 2’de verilmiştir. Yukarıda belirtilen IPCC’ nin formülüne uygun şekilde hesaplanan KAİ’nin yıllık verilerine karşın nihai sonuçları ise Çizelge 3’te aktarılmaktadır. Nihai sonuçların bütün değerlendirmedeki etkisinin yüzdelik olarak gösterimi Şekil 1’de verilmiştir.

Çizelge 3. Bir tekstil fabrikasının KAİ miktarı

Karbon Ayak İzi Kaynakları	Karbon Ayak İzi (CO <sub>2</sub> e/yıl)
Elektrik tüketimi	173,827,000
Servis aracı	15,877,500
Atık su	7,452,395.3
Doğal Gaz	100,186,399.2
Toplam	297,343 ton

KAİ açısından tekstil firması değerlendirildiğinde CO<sub>2</sub>e/yıl olarak en yüksek elektrik tüketiminde görülmüştür. Elektrik tüketimini doğal gaz tüketimi takip ederken en düşük KAİ (CO<sub>2</sub>e/yıl olarak) atık suda görülmektedir. Bu verilere göre Adıyaman ilindeki tekstil fabrikanın Toplam KAİ miktarı yaklaşık olarak 297,343 ton CO<sub>2</sub>/yıl olarak bulunmuştur. Literatür ile kıyaslandığında bu değerlerin kabul edilebilir olduğu görülmekle birlikte çevresel olarak değerlendirildiğinde ise düşürülmesi hem sera gazları açısından hem de yeşil bir dünya için daha kabul edilebilir olması sağlanmış olacaktır.



Şekil 1. Emisyon kaynaklarına göre oluşabilecek yıllık yaklaşık KAİ için yüzdesel dağılımı

Şekil 1’de görüleceği üzere, tekstil fabrikasındaki ürün imalatı süresinde KAİ’yi etkileyen en önemli etkinin elektrik tüketiminin olduğu görülmektedir. Etkileyen diğer faktörlerin KAİ’ye etkisi sırasıyla doğal gaz, servis aracının dizel tüketimi ve atık sudur. Tekstil fabrikalarının KAİ değerlendirmesine dair yapılan bu çalışma hem Türkiye genelinde hem Adıyaman ilinde özel ve önemli bir yer teşkil etmektedir. Bahsi geçen tekstil fabrikasının KAİ miktarına en yüksek etkinin, sonuçlardan da anlaşıldığı üzere elektrik tüketimi ve doğal gazdan kaynaklı

emisyonları azaltmaya çalışmak hem belirtilen fabrika için hem de tekstil sektöründeki yeni üreticiler için büyük önem arz etmektedir. Elektrik ve doğal gaz tüketimi toplamın yaklaşık olarak 92%’sini oluşturduğu için bu bağlamda elektrik tüketimini azaltmak KAİ’ye önemli bir etki yapacaktır. Atık su ve Servis aracı (fossil yakıt tüketimi) toplamın yaklaşık 8%’sini oluşturmakla birlikte belirtilen değer literatür ile kıyaslandığında oldukça kabul edilebilir düzeydedir.

#### Kaynakça

- Akhtar, S., Baig, S. F., Saif, S., Mahmood, A., & Ahmad, S. R. (2017). Five Year Carbon Footprint of a Textile Industry: A Podium to incorporate Sustainability. *Nature Environment and Pollution Technology*, 16(1), 8.
- Athalye, A. (2012). Carbon footprint in textile processing. *Colourage*, 59(12), 45-47
- Başoğul, Y., & Göksu, T. T. (2021). Carbon Foot Print Evaluation of an Industrial Enterprise Producing Flour: A Case study of Adıyaman Province. *MAS Journal of Applied Sciences*, 7(7). <https://doi.org/10.52520/masjaps.40>
- Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., Giacchetta, G., & Marchetti, B. (2011). A carbon footprint analysis in the textile supply chain. *International Journal of Sustainable Engineering*, 4(1), 24-36. <https://doi.org/10.1080/19397038.2010.502582>
- Brander, M. (2012) Greenhouse gases, CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>e, and carbon: What do all these terms mean? *Ecometrica*.
- Brander, M. (2012) Greenhouse gases, CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>e, and carbon: What do all these terms mean? *Ecometrica*.
- Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- Gülhan, H., Özgün, H., Erşahin, M. E., Dereli, R. K., & Öztürk, İ. (2018). İstanbul’daki Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinin Sera Gazı Emisyonunun Modelleme Metodu ile Tahmini. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 59-67.
- Huang, B., Zhao, J., Geng, Y., Tian, Y., & Jiang, P. (2017). Energy-related GHG emissions of the textile industry in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 119, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.013>
- Jain, M. (2017). Ecological approach to reduce carbon footprint of textile industry. 11.
- JRC, EC. (2007). Carbon Footprint: What it is and how to measure it. European Platform on Life Cycle Assessment European Commission, Joint
- Muthu, S. S., Li, Y., Hu, J. Y., & Ze, L. (2012). Carbon footprint reduction in the textile process chain: Recycling of textile materials. *Fibers and Polymers*, 13(8), 1065-1070. <https://doi.org/10.1007/s12221-012-1065-0>
- Oruk, G. & Baran, M.F (2021). Measuring Of Carbon Footprint Of Agricultural Economics Students. In book: *Agricultural-Researches-Resourcebook*, İksad Publishing
- Payet, J. (2021). Assessment of Carbon Footprint for the Textile Sector in France. 22.
- Rathore, D., & Singh, R. (2019). Carbon and Ecological Footprint of Textile Industry: Application of R3 Strategy to Mitigate the Environmental Effects of Textile Processing Waste. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PLANT AND ENVIRONMENT*, 5(02), 133-136. <https://doi.org/10.18811/ijpen.v5i02.11>

- Turhan, E., & Tolunay, D. (2017). TÜRKİYE VE İSTANBUL'DA KENTSEL KATI ATIK KAYNAKLI SERA GAZI SALIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ. 14.
- Wang, C., Wang, L., Liu, X., Du, C., Ding, D., Jia, J., Yan, Y., & Wu, G. (2015). Carbon footprint of textile throughout its life cycle: A case study of Chinese cotton shirts. *Journal of Cleaner Production*, 108, 464–475. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.127>
- Yan, Y., Wang, C., Ding, D., Zhang, Y., Wu, G., Wang, L., Liu, X., Du, C., Zhang, Y., & Zhao, C. (2016). Industrial carbon footprint of several typical Chinese textile fabrics. *Acta Ecologica Sinica*, 36(3), 119–125. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2015.09.002>
- Zamani, B., Svanström, M., Peters, G., & Rydberg, T. (2015). A Carbon Footprint of Textile Recycling: A Case Study in Sweden: Carbon Footprint of Textile Recycling. *Journal of Industrial Ecology*, 19(4), 676–687. <https://doi.org/10.1111/jiec.12208>





# Yeni Di-{2-[(3-alkil)-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]-6-metoksi}-fenil Tereftalat Bileşiklerinin Sentezi ve Potansiyometrik Titrasyonları

Sevda Manap<sup>1\*</sup>, Haydar Yüksek<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Kafkas Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kars, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5025-9622), [manapsevda@gmail.com](mailto:manapsevda@gmail.com)

<sup>1</sup> Kafkas Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kars, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1289-1800), [hhigh61@gmail.com](mailto:hhigh61@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 7 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1006063)

**ATIF/REFERENCE:** Manap, S. & Yüksek, H. (2021). Yeni Di-{2-[(3-alkil)-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]-6-metoksi}-fenil Tereftalat Bileşiklerinin Sentezi ve Potansiyometrik Titrasyonları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 151-156.

## Öz

Bu çalışmada, 3-alkil(aryl)-4-amino-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on (2) bileşiklerinin trietilamin varlığında *o*-vanillinin tereftaloil klorür ile reaksiyonundan elde edilen di-(2-formil-6-metoksifenil) tereftalat (3) ile reaksiyonundan yedi yeni di-{2-[(3-alkil)-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]-6-metoksi}-fenil tereftalat (4) bileşikleri sentez edilmiştir. Sentezlenen yeni bileşikler elementel analiz ve spektroskopik yöntemlerle karakterize edilmiştir. Ayrıca, asitlik üzerine çözücü and molekül yapısının etkisini incelemek için, sentezlenen 4 tipi yeni bileşiklerin aseton, 2-propanol, *tert*-butanol ve *N,N*-dimetilformamid (DMF) susuz çözücülerinde tetrabutylamonyum hidroksit (TBAH) ile potansiyometrik titrasyon incelemeleri yapılmıştır. Her bileşik için kullanılan susuz çözücülerdeki yarı nötralizasyon potansiyel (HNP) değerleri ve karşın olan  $pK_a$  değerleri tayin edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** 1,2,4-Triazol-5-on, Sentez, Schiff bazı,  $pK_a$ , Potansiyometrik titrasyon.

## Synthesis and Potentiometric Titrations of Novel Di-{2-[(3-alkyl/aryl)-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one-4-yl)-azomethine]-6-methoxy}-phenyl Terephthalates

### Abstract

In this study, 3-alkyl(aryl)-4-amino-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-ones (2) reacted with di-(2-formyl-6-methoxyphenyl) terephthalate (3), which was synthesized by the reaction of *o*-vanillin with terephthaloyl chloride by using triethylamine, to afford the corresponding seven novel di-{2-[(3-alkyl/aryl)-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one-4-yl)-azomethine]-6-methoxy}-phenyl terephthalates (4). The structures of new synthesized compounds were characterized by means of elemental analysis and spectroscopic methods. In addition, to investigate the effects of solvents and molecular structure upon acidity, the prepared compounds 4 were titrated potentiometrically with tetrabutylammonium hydroxide in four non-aqueous solvents, including acetone, 2-propanol, *tert*-butyl alcohol and *N,N*-dimethylformamide (DMF). The half-neutralization potential (HNP) values and the corresponding  $pK_a$  values were determined.

**Keywords:** 1,2,4-Triazol-5-one, Syntheses, Schiff base,  $pK_a$ , Potentiometric titration.

\* Sorumlu Yazar: [manapsevda@gmail.com](mailto:manapsevda@gmail.com)

## 1. Giriş

1,2,4-Triazol halkasını içeren bileşiklerin biyolojik aktivitelerinin incelenmesi yanında birçok kullanım alanı olduğunu rapor eden çalışmalar bulunmaktadır (Demirbaş vd., 2002; Padmavathi vd., 2008; Shaker vd., 2005; Salgin-Goksen vd., 2007; Holla vd., 2003; Sztanke vd., 2008; El-Tamany vd., 1997; Lazar vd., 2014).

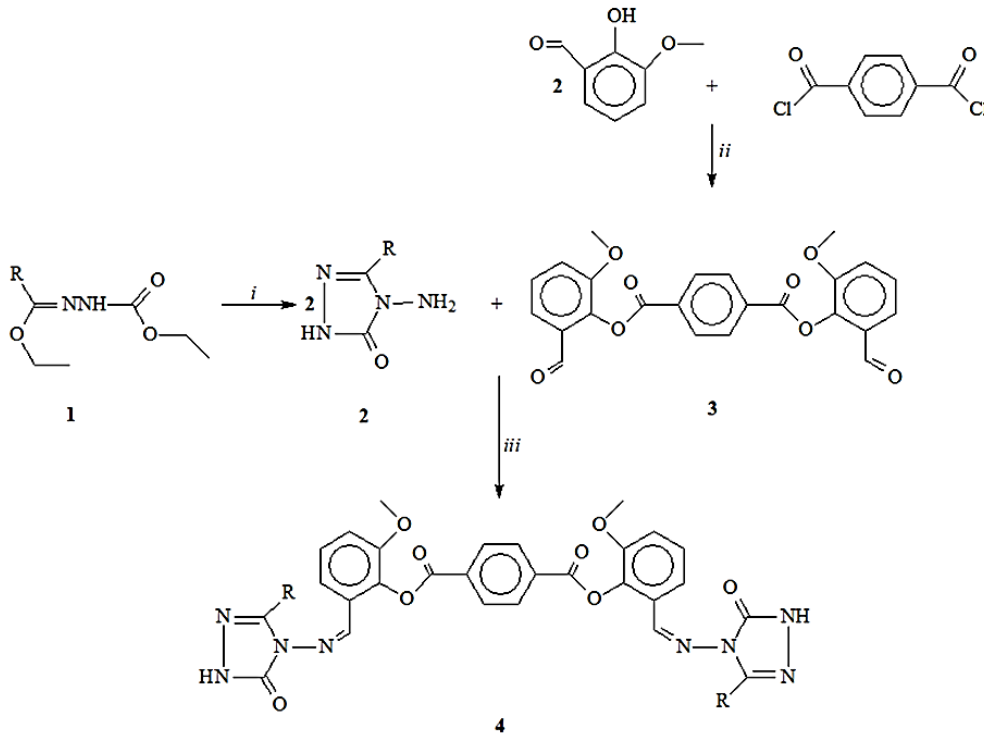
Ayrıca, 1,2,4-triazol türevi Schiff bazlarının sentezi ve biyolojik aktivite incelemelerini içeren bazı çalışmalar mevcuttur (Yüksek vd., 1997; Yüksek vd., 2013; Aktaş-Yokuş vd., 2015; Çiftçi vd., 2018; Manap vd., 2020; Gürbüz vd., 2020; Gürsoy-Kol vd., 2020).

Çözeltinin asit/bazlığının tayininde en önemli rol çözücüdür. Çözeltide gerçekleşen reaksiyona asidik ya da bazik bir etki belirlenecek ise bu çözücüde belirlenir (Güven vd., 2000). Çözücülerin bağlı asitlik ve bazlıkları incelendiğinde, düşük dielektrik sabitli çözücüler dikkate alınmadığında iyon çifti oluşumu fazla ise bir kuvvetler skalası oluşturmak mümkün olmaz. Çözünen açısından düşünüldüğünde çözücü proton verici (asetik asit gibi) olduğundan asidik çözücüdür (King, 1965). Bu çözücülerde çözünen maddenin asidik özelliği azalırken bazik özelliği artar. Asidik bir çözücü bazların bazikliğini artırırken asitlerin asitliğini zayıflatır. Yapı etkisine gelince; molekülün asitlik ve bazlığında iki büyük faktör rol oynar. Bunlar yapı ve

çözücü etkisidir (Gündüz vd., 1987). Genelde bileşiklerin bazikliğine etki eden faktörler: indüktif etki (substituent, alkil, aril etkileri), sterik etki, çözücü etkisi (dipol moment, dielektrik sabiti, asitlik ve bazlık), hidrojen bağı ve rezonans etki olarak sıralanabilir (Gündüz vd., 1986).

4,5-Dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on halkalarının zayıf asit özelliği gösterdiği bilinmektedir. Literatürde bu halkayı taşıyan bileşiklerin susuz çözücülerde TBAH ile potansiyometrik titrasyonları sonucu asitlik sabitlerinin tayinini içeren çalışmalar mevcuttur (Gürsoy-Kol vd., 2013; Yüksek vd., 2013; Yüksek vd., 2015; Yüksek ve Gürsoy-Kol, 2008). Bileşiklerin p*K*<sub>a</sub> değerlerinin tayini o bileşiklerin farmasötik özellikleri başta olmak üzere bazı özellikleri için önemlidir (Demirbaş vd., 1998; Frey vd., 1971; Pütün vd., 1995).

Bu çalışmada, 2 Bileşikleri ile bir aromatik aldehid olan 2-hidroksi-3-metoksibenzaldehidin trietilamin ilavesi ile tereftaloil klorürle reaksiyonunda elde edilen di-(2-formil-6-metoksifenil) tereftalatın (3) muamelesinden yeni di-{2-[(3-alkil)-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]-6-metoksi}-fenil tereftalatlar (4) sentezlenmiştir (Şema 1). Başlangıç bileşikleri olan 2 tipi bileşikler literatür uyarınca hazırlanmıştır (İkizler ve Ün, 1979; İkizler ve Yüksek, 1993). Yeni bileşiklerin yapıları elementel analiz ve spektroskopik yöntemlerle karakterize edilmiştir, 4 Bileşiklerinin potansiyometrik olarak susuz ortam titrasyonları yapılarak HNP ve p*K*<sub>a</sub> değerleri belirlenmiştir.



- a) R= CH<sub>3</sub>, b) R= CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>, c) R= CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>, d) R= CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>, e) R= CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>CH<sub>3</sub> (*p*-),  
f) R= CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl (*p*-), g) C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>

Şema 1: 4 Numaralı bileşiklerin sentezi

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada için gerekli kimyasallar Merck AG'den sağlanmıştır. Erime noktalarının tayininde Stuart SMP30 erime noktası aparatı kullanılmıştır. IR spektrumları Alpha-P Bruker FT-IR cihazı ile kaydedilmiştir. <sup>1</sup>H ve <sup>13</sup>C NMR spektrumları, Bruker Avance III cihazı ile alınmıştır.

### 2.1. Genel Yöntem: Di-{2-[(3-alkil)-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il]-azometin]-6-metoksi}-fenil tereftalat (4) bileşiklerinin sentezi

2-Hidroksi-3-metoksibenzenaldehydin (0.02 mol) etil asetatteki çözeltisine tereftaloil klorür (0.01 mol) eklenmiş ve karıştırılarak bu çözeltiyeye soğukta trietilaminin (0.01 mol) 10 mL etil asetatteki çözeltisi ilave edilmiş ve 2 saat karıştırılmıştır. Sonra karışım 3 saat reflaks edilerek süzölmüştür. Süzöntü buharlaştırılmış, kalıntı suyla yıkanmış ve etanolden kristallendirilerek **3** bileşiği olarak tanımlanmıştır. Verim: 92.2%; m.p. 170°C; IR (cm<sup>-1</sup>)  $\nu_{max}$ : 2820 ve 2768 (CHO), 1677 (C=O), 1272 (COO), 806 (1,4 disubstitue benzen halkası). Daha sonra, **2** bileşiği (0.01 mol) asetik asitte (20 mL) çözülerek üzerine di-(2-formil-6-metoksifenil) tereftalat (**3**) (0.01 mol) eklenmiştir. Balon içeriği 1.5 saat reflaks edilmiş ve su ilavesiyle çöktürülerek süzölüp kurutulmuştur. Kalıntı DMSO-su (1:3) dan kristallendirilmiştir.

**4a:** Verim: 81.5%, e.n. 275°C. IR (KBr,  $\nu$ , cm<sup>-1</sup>): 3179 (NH), 1746, 1701 (C=O), 1610, 1597 (C=N), 1253 (COO), 825 (1,4 disubstitue benzen halkası). <sup>1</sup>H-NMR (200 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) (ppm)  $\delta$  H: 2.10 (s, 6H, 2CH<sub>3</sub>), 3.85 (s, 6H, 2OCH<sub>3</sub>), 6.85-7.62 (m, 5H, ArH), 8.16 (d, 2H, ArH,  $J = 8.30$  Hz), 8.26 (d, 2H, ArH,  $J = 8.30$  Hz), 8.38 (s, 1H, ArH), 9.88 (s, 2H, 2N=CH), 11.78 (s, 2H, 2NH); <sup>13</sup>C-NMR (50 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) (ppm)  $\delta$  C: 11.61 (2CH<sub>3</sub>), 56.76 (2OCH<sub>3</sub>), [114.82, 115.90, 118.05, 118.92, 119.60 (2C), 120.40, 127.40, 127.75, 130.40 (2C), 130.70 (2C), 131.10, 132.05, 144.60, 151.40 (2C)] (ArC), 147.60 (2Triazol C<sub>3</sub>), 148.95 (2N=CH), 151.90 (2Triazol C<sub>5</sub>), 163.60 (2COO). *Elementel analiz* C<sub>30</sub>H<sub>26</sub>O<sub>8</sub>N<sub>8</sub> (626.59) için Hesaplanan: C, 57.51; H, 4.18; N, 17.88. Bulunan: C, 57.53; H, 4.18; N, 17.87.

**4b:** Verim 79.4%, e.n. 257°C. IR (KBr,  $\nu$ , cm<sup>-1</sup>): 3198 (NH), 1742, 1704 (C=O), 1605, 1592 (C=N), 1278 (COO), 820 (1,4 disubstitue benzen halkası). <sup>1</sup>H-NMR (200 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) (ppm)  $\delta$  H: 1.10 (t, 6H, 2CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>,  $J = 7.60$  Hz), 2.48 (q, 4H, 2CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>,  $J = 7.50$  Hz), 3.85 (s, 6H, 2OCH<sub>3</sub>), 7.39-7.59 (m, 6H, ArH), 8.17-8.39 (m, 4H, ArH), 9.91 (s, 2H, 2N=CH), 11.76 (s, 2H, 2NH); <sup>13</sup>C-NMR (50 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) (ppm)  $\delta$  C: 10.29 (2CH<sub>3</sub>), 18.79 (2CH<sub>2</sub>), 56.79 (2OCH<sub>3</sub>), [115.95, 119.21, 121.61, 122.61, 127.56, 127.93 (2C), 128.83, 130.30, 130.64, 131.05 (2C), 133.35, 136.25, 139.11, 141.90, 151.80 (2C)] (ArC), 148.36 (2Triazol C<sub>3</sub>), 149.21 (2N=CH), 151.90 (2Triazol C<sub>5</sub>), 163.49 (2COO).

**4c:** Verim 87.4%, e.n. 215°C. IR (KBr,  $\nu$ , cm<sup>-1</sup>): 3324 (NH), 1714 (C=O), 1605 (C=N), 1246 (COO), 819 (1,4 disubstitue benzen halkası). <sup>1</sup>H-NMR (200 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) (ppm)  $\delta$  H: 0.95 (t, 6H, 2CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>,  $J = 7.40$  Hz), 1.69 (sext, 4H, 2CH<sub>2</sub>,  $J = 7.40$  Hz), 2.63 (t, 4H, 2CH<sub>2</sub>,  $J = 7.40$  Hz), 3.85 (s, 6H, 2OCH<sub>3</sub>), 6.85-7.38 (m, 6H, ArH), 8.20-8.40 (m, 4H, ArH), 9.99 (s, 2H, 2N=CH), 11.78 (s, 2H, 2NH); <sup>13</sup>C-NMR (50 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) (ppm)  $\delta$  C: 13.92 (2CH<sub>3</sub>), 19.37 (2CH<sub>2</sub>), 27.25 (2CH<sub>2</sub>), 56.44 (2OCH<sub>3</sub>), [114.81 (2C), 118.15 (2C), 119.78 (3C), 120.51 (3C), 128.46, 129.42, 132.48, 136.94, 145.41, 147.29,

151.55 (2C)] (ArC), 147.76 (2Triazol C<sub>3</sub>), 148.65 (2N=CH), 151.86 (2Triazol C<sub>5</sub>), 163.33 (2COO).

**4d:** Verim 87.4%, e.n. 240°C. IR (KBr,  $\nu$ , cm<sup>-1</sup>): 3207 (NH), 1744, 1705 (C=O), 1604, 1595 (C=N), 1277 (COO), 816 (1,4 disubstitue benzen halkası), 760 ve 700 825 (monosubstitue benzen halkası). <sup>1</sup>H-NMR (200 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) (ppm)  $\delta$  H: 3.83 (s, 6H, 2OCH<sub>3</sub>), 3.95 (s, 4H, 2CH<sub>2</sub>), 7.22-7.60 (m, 16H, ArH), 8.13-8.38 (m, 4H, ArH), 9.90 (s, 2H, 2N=CH), 11.92 (s, 2H, 2NH); <sup>13</sup>C-NMR (50 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) (ppm)  $\delta$  C: 31.33 (2CH<sub>2</sub>), 56.79 (2OCH<sub>3</sub>), [115.98, 118.39, 127.17 (2C), 127.29, 127.52, 127.96, 128.87 (4C), 128.93 (2C), 129.21 (4C), 129.35 (2C), 130.63, 131.03 (2C), 133.20, 135.72, 136.06 (2C), 139.36, 145.74, 151.65 (2C)] (ArC), 146.57 (2Triazol C<sub>3</sub>), 148.60 (2N=CH), 151.81 (2Triazol C<sub>5</sub>), 163.48 (2COO).

**4e:** Verim 82.3%, e.n. 233°C. IR (KBr,  $\nu$ , cm<sup>-1</sup>): 3181 (NH), 1754, 1714 (C=O), 1605, 1592 (C=N), 1284 (COO), 825 (1,4-disubstitue benzenoid halka). <sup>1</sup>H-NMR (200 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) (ppm)  $\delta$  H: 3.25 (s, 6H, 2CH<sub>3</sub>), 3.84 (s, 6H, 2OCH<sub>3</sub>), 3.98 (s, 4H, 2CH<sub>2</sub>), 6.87-7.58 (m, 14H, ArH), 8.15-8.33 (m, 4H, ArH), 9.95 (s, 2H, 2N=CH), 11.93 (s, 2H, 2NH); <sup>13</sup>C-NMR (50 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) (ppm)  $\delta$  C: 21.07 (2CH<sub>3</sub>), 31.17 (2CH<sub>2</sub>), 56.78 (2OCH<sub>3</sub>), [114.78, 115.98, 118.05, 118.41, 119.78, 120.44, 127.52, 127.98, 129.04 (3C), 129.07 (3C), 129.44 (3C), 129.48 (3C), 130.32 (2C), 131.03, 132.95, 133.15, 133.19, 136.23, 139.35, 151.22, 151.62] (ArC), 146.72 (2Triazol C<sub>3</sub>), 148.61 (2N=CH), 151.76 (2Triazol C<sub>5</sub>), 163.48 (2COO).

**4f:** Verim 77.5%, m.p. 261°C. IR (KBr,  $\nu$ , cm<sup>-1</sup>): 3193 (NH), 1744, 1705 (C=O), 1591 (C=N), 1266 (COO), 820, 809 (1,4-disubstitue benzenoid halka). <sup>1</sup>H-NMR (200 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) (ppm)  $\delta$  H: 3.82 (s, 6H, 2OCH<sub>3</sub>), 3.88 (s, 4H, 2CH<sub>2</sub>), 6.85-7.61 (m, 14H, ArH), 8.15 (d, 2H, ArH,  $J = 8.30$  Hz), 8.26 (d, 2H, ArH,  $J = 8.30$  Hz), 9.88 (s, 2H, 2N=CH), 11.77 (s, 1H, NH), 11.79 (s, 1H, NH); <sup>13</sup>C-NMR (50 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) (ppm)  $\delta$  C: 31.33 (CH<sub>2</sub>), 31.60 (CH<sub>2</sub>), 56.44 (OCH<sub>3</sub>), 56.75 (OCH<sub>3</sub>), [114.70, 115.92 (2C), 118.13 (2C), 118.94 (2C), 119.74 (2C), 120.43, 127.40, 127.85 (2C), 130.31 (4C), 130.61 (4C), 131.70, 132.30, 133.20, 135.20, 136.35, 144.59 (2C), 148.98 (2C)] (ArC), 147.72 (2Triazol C<sub>3</sub>), 148.62 (2N=CH), 151.62 (2Triazol C<sub>5</sub>), 163.73 (2COO). *Elementel analiz* C<sub>42</sub>H<sub>32</sub>O<sub>8</sub>N<sub>8</sub>Cl<sub>2</sub> (847.67) için Hesaplanan: C, 59.51; H, 3.81; N, 13.22. Bulunan: C, 59.62; H, 3.48; N, 13.63.

**4g:** Verim 78.1%, e.n. 287°C. IR (KBr,  $\nu$ , cm<sup>-1</sup>): 3173 (NH), 1743, 1705 (C=O), 1608 (C=N), 1256 (COO), 820 (1,4-disubstitue benzenoid halka), 777 ve 692 (monosubstitue benzenoid halka). <sup>1</sup>H-NMR (200 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) (ppm)  $\delta$  H: 3.85 (s, 6H, 2OCH<sub>3</sub>), 6.85-7.56 (m, 12H, ArH), 7.81-7.90 (m, 4H, ArH), 8.10-8.24 (m, 4H, ArH), 9.85 (s, 2H, 2N=CH), 12.30 (s, 2H, 2NH); <sup>13</sup>C-NMR (50 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) (ppm)  $\delta$  C: 56.68 (2OCH<sub>3</sub>), [114.85, 116.25, 118.20, 118.50, 119.85, 120.30, 126.60, 126.95, 127.70, 127.78, 128.10 (2C), 128.46 (3C), 128.60 (2C), 128.99 (3C), 129.70, 129.95, 130.56 (2C), 130.60, 132.90, 144.98 (2C), 151.50 (2C)] (ArC), 147.95 (2Triazol C<sub>3</sub>), 148.75 (2N=CH), 153.80 (2Triazol C<sub>5</sub>), 163.20 (2COO). *Elementel analiz* C<sub>40</sub>H<sub>30</sub>O<sub>8</sub>N<sub>8</sub> (750.73) için Hesaplanan: C, 64.00; H, 4.03; N, 14.93. Bulunan: C, 64.02; H, 4.01; N, 14.96.

### 2.2. Potansiyometrik titrasyonlar

**4** Numaralı bileşiklerin asitlik tayinleri Kaynak (Bahçeci vd., 2021) da açıklandığı şekilde yapılmıştır. Bu amaçla, bileşiklerin 2-propanol, *tert*-butanol, aseton ve DMF'deki 100 mL'lik çözeltileri, titrasyonda için de TBAH'ın 2-propanoldeki

çözültisi kullanılmıştır. Çalışmada Mettler Toledo SevenGo pro pH/ORP/İon metre kullanılmıştır. Bileşiklerin 2-propanol, *tert*-butanol, aseton ve DMF'deki çözültülerinin 0.05 N TBAH çözültisi ile titre edilmesiyle oluşturulan veriler kullanılarak TBAH hacmi ile buna karşılık gelen mV değerleri dikkate alınarak grafikleri çizilmiştir. Ele geçen pH ve mV değerlerinden yararlanarak titrasyon grafikleri çizilmiştir. Bunlardan yararlanarak HNP değerleri belirlenmiştir.

Bilindiği üzere Tampon çözültilerde;

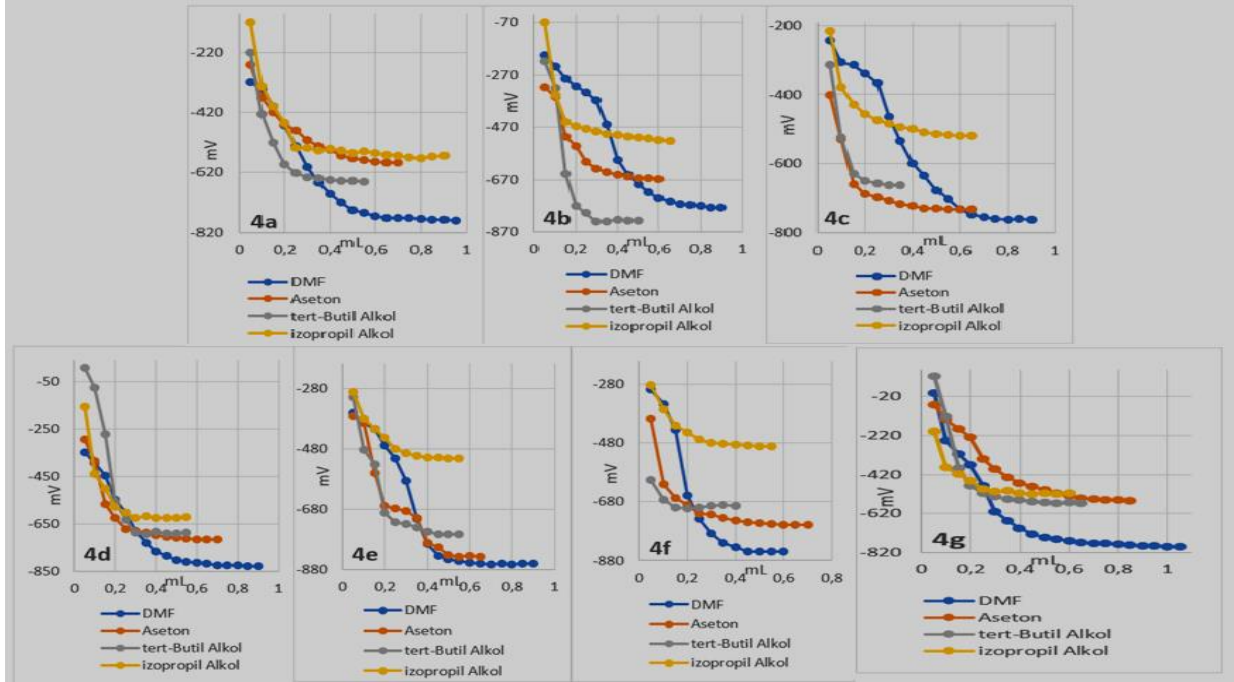
$$pH = pK_a + \log \frac{[R^-]}{[HR]}$$

eşitliğinden yarı nötralizasyonda,

$[R^-] = [HR]$  olduğundan  $pH = pK_a$  olur (Gündüz, 2001; Gürsoy-Kol vd., 2012).

### 3. Bulgular

**4a-g** Bileşiklerinin 2-propanol, *tert*-butanol, aseton ve DMF'deki 0.001 Molarlık çözültisinin 0.05 Normal TBAH çözültisi ile titrasyonundan bulunan sonuçlar TBAH hacmine karşı mV olarak grafiklere geçirilerek oluşturulan grafikler Şekil 1. de gösterilmiştir.



Şekil 1. 4a-g Bileşiklerinin 2-propanol, *tert*-butanol, aseton ve DMF çözücülerindeki TBAH ile potansiyometrik titrasyon grafikleri

Yarı-nötralizasyon metoduna göre hesaplanan değerler Tablo 1'de verilmiştir (Gürsoy-Kol vd., 2016).

Tablo 1. 4a-g Bileşiklerinin 2-propanol, *tert*-butanol, aseton ve DMF çözücülerindeki HNP (mV) ve  $pK_a$  değerleri

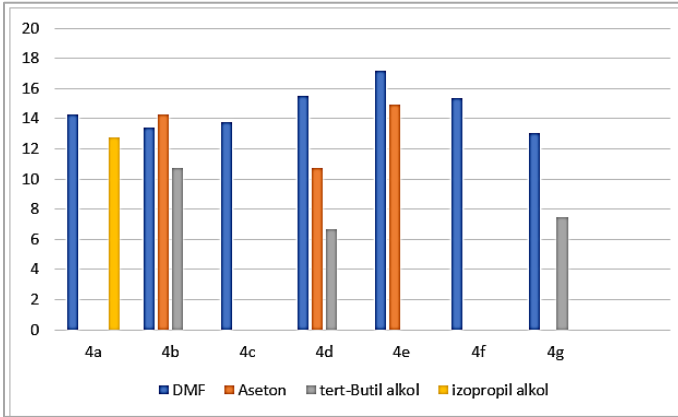
Bileşik	DMF		Aseton		Tert-Butanol		İzopropil alkol	
	$pK_a$	HNP	$pK_a$	HNP	$pK_a$	HNP	$pK_a$	HNP
4a	14.30	-342	-	-	-	-	12.76	-332
4b	13.41	-298	14.26	-317	10.74	-217	-	-
4c	13.79	-315	-	-	-	-	-	-
4d	15.54	-394	10.76	-294	6.66	-344	-	-
4e	17.20	-415	14.90	-373	-	-508	-	-
4f	15.40	-348	-	-	-	-	-	-
4g	13.02	-280	-	-	7.45	-20	-	-



#### 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada, 2 bileşiklerinin di-(2-formil-6-metoksifenil) tereftalat (3) ile reaksiyonundan di-{2-[(3-alkil)-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il]-azometin]-6-metoksi}-fenil tereftalatlar (4) oluşturulmuştur. Sentezlenen 4 tipi bileşiklerin karakterizasyonu spektroskopik yöntemlerle başarılmıştır. Ayrıca, 4 tipi bileşiklerin potansiyometrik çalışmasında TBAH kullanılarak susuz ortam titrasyonları yapılmış yarı-nötralizasyon yöntemi ile HNP değerleri ile asitlik sabiti değerleri belirlenmiştir.

Hesaplanan  $pK_a$  değerleri ile çözücülerin dielektrik sabiti ve otoprotoliz sabiti değerleri kullanılarak grafik şekline dönüştürülmüştür (Şekil 2).



Şekil 2. 4a-4g Bileşiklerinin  $pK_a$  grafikleri

Dielektrik sabitleri dikkate alındığında teorik olarak asitlik sıralaması, *tert*-butanol ( $\epsilon=12$ ) < 2-propanol ( $\epsilon=19.4$ ) < aseton ( $\epsilon=20.6$ ) < DMF ( $\epsilon=37$ ) şeklinde olmalıdır.

Amfiprotik çözücüler olan *tert*-butanol ve 2-propanol ortamında bileşiklerin asitlikleri incelendiğinde 4a ve 4c bileşiklerinin *tert*-butanol, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f ve 4g bileşiklerinin 2-propanolde asitlik kuvvetleri tipik S şeklinde eğriler elde edilemediğinden tespit edilememiştir. Bu nedenle asitlik kuvvetleri kıyaslanamamıştır.

Dipolar aprotik çözücüler olan aseton ve DMF durumunda teorik olarak DMF'de 4b bileşiğinin daha asidik olduğu, 4a, 4c, 4f ve 4g bileşiklerinin asetonunda, 4a bileşiğinin DMF ortamında asitlik kuvvetleri tipik S şeklinde eğriler elde edilemediğinden tespit edilememiştir. 4d ve 4e bileşikleri için sıralama beklenen sıralamaya uymadığı görülmüştür.

#### 5. Teşekkür

Asitlik sabitlerinin belirlenmesindeki katkısından dolayı Dr. Zafer OCAK'a teşekkür ederiz.

#### Kaynakça

- Aktaş-Yokuş, Ö., Yüksek, H., Gürsoy-Kol, Ö., Alpay-Karaoğlu, S. (2015). Synthesis and biological evaluation of new 1,2,4-triazol derivatives with their potentiometric titrations. *Med. Chem. Res.*, 24: 2813–2824.
- Bahçeci, Ş., Ocak, Z., Yıldırım, N., Yüksek, H., 2021. Solvent and molecular structure effects on acidity strength in non-aqueous medium. *Turk J Anal Chem.*, 3(1): 27-32.
- Çiftçi, E., Beytur, M., Calapoğlu, M., Gürsoy Kol, Ö., Alkan, M., Toğay, V.A., Manap, S., Yüksek, H. (2018). Synthesis, characterization, antioxidant and antimicrobial activities and DNA damage of some novel 2-[3-alkyl (aryl)-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one-4-yl]-phenoxyacetic acids in Human Lymphocytes. *Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci.*, 9(5): 1760-1771.
- Demirbaş, A., Kula, I., Erdoğan, Y., Aslan, A., Yaylı, N., Karşlıoğlu, S. (1998). Non-aqueous medium titration of some acidic compounds. *Energy Education Science and Technology*, 1: 13–16.
- Demirbaş, N., Ugurluoğlu, R., Demirbaş, A. (2002). Synthesis of 3-alkyl(Aryl)-4-alkylidenamino-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-ones and 3-alkyl-4-alkylamino-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-ones as antitumor agents. *Bioorg. Med. Chem.*, 10(12): 3717-3723.
- Frey, P.A., Kokesh, F.C., Westheimer, F.H. (1971). A reporter group at active site of acetoacetate decarboxylase. I. Ionization constant of the nitrophenol. *Journal of the American Chemical Society*, 93: 7266-7269.
- Gündüz, T., Gündüz, N., Kılıç, E., Kenar, A., Çetinel, G. (1986). Part II. Basicity order of Aliphatic Amines in Nitrobenzene Solvent. *Analyst*, 111: 1099-1101.
- Gündüz, T., Gündüz, N., Kılıç, E., Gürkan, P. (1987). Part VI. Effects of Substituents on Basicity or Acidity of N-Salicylidene-2-Hydroxyaniline. *Analyst*, 112: 1057-1061.
- Gündüz, T. (2001). *İnstrümental Analiz*. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, s.936-940, Ankara-Türkiye.
- Gürbüz, A., Alkan, M., Manap, S., Gürsoy Kol, Ö., 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 . DOI: 10.31590/ejosat.656126.
- Gürsoy-Kol, O., Yüksek, H., Islamoglu, F. (2012). In vitro antioxidant and acidic properties of novel 4-(5-methyl-2-thienylmethyleneamino)-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one derivatives. Synthesis and characterization. *Revista de Chimie -Bucharest*, 63(11): 1103-1111.
- Gürsoy-Kol, O., Yüksek, H., Islamoglu, F. (2013). Synthesis and in vitro antioxidant activities of novel 4-(3-methyl-2-thienylmethyleneamino)-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one derivatives with their acidic properties. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 35(4): 1179–1190.
- Gürsoy-Kol, Ö., Ocak, Z., Yüksek, H. (2016). Bazı 3-alkil(aril)-4-(3-asetoksibenzilidenamino)-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on bileşiklerinin susuz ortam titrasyonları. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(3): 518-523.
- Gürsoy-Kol, Ö., Manap, S., Ozdemir, G., Beytur, M., Agdaş, E., Azap, F., Yuca, S., Alkan, M., Yüksek, H. (2020). Synthesis, antioxidant and antimicrobial activities of novel 4-(2-cinnamoyloxybenzylidenamino)-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-one derivatives. *Heterocyclic letters*, 10(4): 575-587.
- Güven, A., Yekeler, H. Özkan, R. (2000). Prediction of the acidities of organic bases in aqueous solution using AM1 COSMO solvent model. *Journal Of Molecular Structure (Theochem)*, 499: 13-19.
- Holla, B.S., Veerendra, B., Shivananda, M.K., Poojary, B. (2003). Synthesis characterization and anticancer activity studies on some Mannich bases derived from 1,2,4-triazoles. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 38(7-8): 759-767.
- İkizler, A.A., Ün, R. (1979). Reactions of ester ethoxycarbonylhydrazones with some amine type compounds. *Chim Acta Turc*. 7: 269-290.
- Ikizler, A., Yüksek, H. (1993). Acetylation of 4-amino-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-ones. *Org. Prep. Proc. Int.*, 25(1): 99-105.
- King, E.J. (1965). *Acid Base Equilibria*, First Edition, Pergamon Press Inc. Oxford.
- Manap, S., Gürsoy-Kol, Ö., Alkan, M., Yüksek, H. (2020). Synthesis, in vitro antioxidant and antimicrobial activities of some novel 3-substitued-4-(3-methoxy-4-isobutyryloxybenzylidene-amino)-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one derivatives. *Indian J. of Chem. Sect. B*, 59B (02): 271-282.
- Padmavathi, V., Thriveni, P., Sudhakar, R.G., Deepti, D. (2008). Synthesis and antimicrobial activity of novel sulfone-linked bis heterocycles. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 43(5): 917-924.
- Putun, A.E., Bereket, G., Keskin, E. (1995). Potentiometric titrations of some 2-substitued 5-nitrobenzimidazole derivatives in nonaqueous solvent. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 40: 221–224.
- Salgin-Goksen, U., Gokhan-Kelekci, N., Goktas, O., Köysal, Y., Kılıç, A., Işık, Ş., Aktay, G., Özalp, M. (2007). 1-Acylthiosemicarbazides, 1,2,4-triazole-5(4H)-thiones, 1,3,4-thiadiazoles and hydrazones containing 5-methyl-2-benzoxazolinones: synthesis, analgesic-anti-inflammatory and antimicrobial activities. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 15(17): 5738-5751.
- Shaker, R.M., Mahmoud, A.F., Abdel-Latif, F.F. (2005). Synthesis and biological activities of novel 1,4-bridged bis-1,2,4-triazoles, bis-1,3,4-thiadiazoles and bis-1,3,4-oxadiazoles. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, 180(2): 397-406.
- Sztanke, K., Tuzimski, T., Rzymowska, J., Pasternak, K., Kandefers-Szerszen, M. (2008). Synthesis, determination of the lipophilicity, anticancer and antimicrobial properties of some fused 1,2,4-triazole derivatives. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 43(2): 404-419.
- Yüksek, H., Demirbaş, A., İkizler, A., Johansson, C.B., Çelik, C., İkizler, A.A. (1997). Synthesis and antibacterial activities of some 4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-ones. *Arzneim.-Forsch./Drug Res.*, 47: 405-409.
- Yüksek, H., Gürsoy-Kol, Ö. (2008). Preparation, characterization, and potentiometric titrations of some new di-[3-(3-alkyl/aryl-4,5-isophthalate/terephthalate derivatives). *Turkish Journal of Chemistry*, 32: 773-784.
- Yüksek, H., Akyıldırım, O., Yola, M.L., Gürsoy-Kol, Ö., Çelebier, M., Kart, D. (2013). Synthesis, in vitro antimicrobial and antioxidant activities of some new 4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one derivatives. *Archiv Der Pharmazie*, 346(6): 470-480.
- Yüksek, H., Koca, E., Gürsoy-Kol, Ö., Akyıldırım, O., Çelebier, M. (2015). Synthesis, in vitro antioxidant activity, and physicochemical properties of novel 4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one derivatives. *Journal of Molecular Liquids*, 206: 359-366.



# Kısmi Gölgeleme Şartları Altındaki Kompleks Yapılı Fotovoltaik Enerji Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası Takibinin Metasezgisel Algoritmalar Kullanılarak İncelenmesi

Ayşenur Özdemir<sup>1</sup>, Nihat Pamuk<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9614-1603)

[ayozdemir28@gmail.com](mailto:ayozdemir28@gmail.com)

<sup>2\*</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8980-6913)

[nihatpamuk@gmail.com](mailto:nihatpamuk@gmail.com)

(First received 8 October 2021 and in final form 23 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1006248)

**ATIF/REFERENCE:** Özdemir, A. & Pamuk, N. (2021). Kısmi Gölgeleme Şartları Altındaki Kompleks Yapılı Fotovoltaik Enerji Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası Takibinin Metasezgisel Algoritmalar Kullanılarak İncelenmesi. *European Journal of Science and Technology*, (31), 157-164.

## Öz

Fotovoltaik (PV) enerji sistemlerinin verimlilik değerini arttırabilmek oldukça önemlidir. Bunun için güç elektroniği çeviricilerinin verimli çalışacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Buna ek olarak maksimum güç noktası takibinde verimlilikte önemli kazanç sağlayabilmektedir. Geleneksel algoritmalar maksimum güç noktası takibi yapılırken, eşit dağılımlı ışımaya ve sıcaklık şartları altında oldukça verimli bir şekilde çalışmaktadır. Ancak kısmi gölgeleme şartları meydana geldiğinde, geleneksel takip yöntemleri global maksimum güç noktasını izleyememekte ve yerel maksimum güç noktalarına yakalanmaktadır. Buna karşılık doğadan ilham alınarak oluşturulan metasezgisel algoritmalar global maksimum güç noktasının takip edilmesinde daha başarılı olmaktadır. Bu çalışmada kompleks yapıya sahip PV enerji sistemlerinde, maksimum güç noktasının takibinde kullanılan çalışmalar hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Kısmi gölgeleme şartları altındaki PV enerji sistemlerinde, sıcaklık ve ışınım miktarının sistem üzerindeki etkisinden bahsedilmiştir. Çalışmada maksimum güç noktası takip yöntemleri hakkında bilgiler verilmekte olup, geleneksel ve metasezgisel yöntemlerin uygulanan kriterler bakımından birbirleri ile karşılaştırmalı analizi verilmiştir. PV enerji sistemlerinde kullanılan metasezgisel algoritmalarından biri olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritmasıyla ilgili çalışmalar incelenmiştir. Maksimum güç noktası takip yöntemleri arasında sıklıkla kullanılan ve popüler bir algoritma olan PSO algoritması ile, sistemin maksimum güç noktası takibi yüksek doğruluk oranında izlenebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik enerji sistemleri, Kısmi gölgeleme, Metasezgisel algoritmalar, Maksimum güç noktası takibi.

## Investigation of Maximum Power Point Tracking in Complex Photovoltaic Energy Systems Under Partial Shading Conditions Using Metaheuristic Algorithms

### Abstract

It is very important to increase the efficiency value of photovoltaic (PV) energy systems. For this, power electronics converters must be designed to work efficiently. In addition, maximum power point tracking can provide significant gains in efficiency. Conventional algorithms work very efficiently under evenly distributed radiation and temperature conditions while tracking the maximum power point. However, when partial shading conditions occur, traditional tracking methods cannot follow the global maximum power point and are caught in the local maximum power points. On the other hand, metaheuristic algorithms inspired by nature are more successful in tracking the global maximum power point. In this study, detailed information is given about the studies used in the follow-up of the maximum power point in PV energy systems with complex structure. In PV energy systems under partial shading conditions, the effect of temperature and radiation amount on the system is mentioned. In the study, information about maximum power point tracking methods is given, and a comparative analysis of traditional and metaheuristic methods with each other in terms of applied criteria is given. Studies on the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm, which is one of the metaheuristic algorithms used in PV energy systems, are examined. With the PSO algorithm, which is a popular and frequently used algorithm among the maximum power point tracking methods, the maximum power point tracking of the system can be monitored with high accuracy.

**Keywords:** Photovoltaic energy systems, Partial shading, Metaheuristic algorithms, Maximum power point tracking.

\* Corresponding Author: [nihatpamuk@gmail.com](mailto:nihatpamuk@gmail.com)

## 1. Giriş

Günümüzde nüfus artışı ile birlikte enerjiye olan ihtiyacın artması, kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtların yakında tükenmesi, çevresel kaygılar ve enerjide dışa bağımlılığı en aza indirmek gibi temel nedenler üretimde alternatif, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının arayışlarına sebep olmuştur. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmıştır. Jeotermal, hidroelektrik, rüzgar, biokütle, dalga ve güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarından bazılarıdır. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yaygın olarak tercih edilmektedir. Güneşten elde edilen enerjiyi PV modüller aracılığıyla doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilme özelliği sayesinde, güneş enerjisi elektrik enerjisi üretiminde sıklıkla kullanılan bir kaynaktır (Bholane, & Babu, 2018).

PV enerji sistemleri temiz, düşük bakım maliyeti, gürültüsüz ve modüler yapısı ile düşük güç değerlerinden daha yüksek güç değerlerine kadar kolaylıkla tasarlanabilir ve uygulanabilir olması başlıca avantajları arasında sayılmaktadır (Ünlü, 2015). Geçmişte güneş enerjisi dönüşüm sistemleri tek başına belirli bir yükün enerji gereksinimini karşılamak amacıyla kullanılmıştır. Ancak zaman ilerledikçe güneşten gelen sıcaklık ve ışınım miktarının sürekliliğinin sağlanamaması, günün her saatinde yükün enerji gereksiniminin olması nedeniyle başka çözüm yolları aranmaya başlanmıştır. Bunun sonucunda da batarya depolama sistemleri geliştirilmiştir (Çetinbaş, Tamyürek, & Demirtaş, 2019).

Günümüzde, farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının güneş enerjisi ile birlikte kırsal yerlerde ve şebekelerde hibrit bir şekilde kullanımı giderek artan bir uygulama alanı olmaya başlamıştır. Bu durum mikro şebekeler olarak isimlendirilen sistemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Mikro şebekeler ile enerjinin yerinde üretimi ve tüketimi faydalarına ilave olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği elektrik enerjisinin enerji üretim santrallerinin bulunduğu coğrafi bölge şartlarına göre ayarlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yüzden mikro şebekelerden en yüksek seviyede verim alabilmek için, mikro şebekelerde kullanılan PV enerji modüllerinin ve diğer bileşenlerinin kullanılması, teknik ve ekonomik açılarından incelenmesi ve optimizasyonunun gerçekleştirilmesi büyük önem kazanmaktadır (Çetinbaş, Tamyürek, Demirtaş, 2019).

PV enerji sistemleri şebeke bağlantı yapısı ve maliyetleri incelendiğinde maksimum verimle çalışması beklenen kompleks sistemlerdir. Fotovoltaik modülün çalışma noktası, yük direncine yani çalışma akımı ve çalışma gerilimine bağlıdır. Bu sistemleri maksimum verimde çalıştırmak için maksimum güç noktası takibi (MGNT) adı verilen uygulamaların kullanılması gerekir. MGNT, güneş panellerinin güneş ışınlarını takip etmelerini sağlamak amacıyla yazılımsal olarak geliştirilmiş algoritmalardır, güneş panelinin çalışma noktasını değiştiren elektronik aygıtlardır (Karagöz, 2020). MGNT algoritmalarının çalıştırılması esnasında güç elektroniği dönüştürücüler ve PV modüllerden elde edilen enerjinin mikrodenetleyiciler aracılığıyla yüke aktarılması sağlanır.

Literatürde pek çok MGNT algoritması vardır, ama her MGNT algoritması temelde verilen bir fonksiyonun maksimum çalışma noktasını bulan bir optimizasyon algoritmasıdır. Bundan dolayı sistemde kullanılan MGNT algoritmalarının hassasiyeti ve doğruluk hızı araştırma yöntemleri arasında bulunmaktadır

(Anoop, & Nandakumar, 2018). PV sistemlerin, MGNT uygulamalarında karşılaştığı en büyük sorunlardan biri kısmi gölgeleme durumudur. Hareket eden bulutlar, ağaç ve bina gibi yapıların gölgesi panelde kısmi gölgelemeye neden olur. Bu sebeple kısmi gölgeleme şartları da göz önüne alınarak PV sistemlerden maksimum verim almak için farklı tasarımlar ve algoritmalar ile sistemler gerçekleştirilmektedir.

MGNT yöntemleri geleneksel ve meta sezgisel yöntemler olarak ikiye ayrılmıştır. Geleneksel MGNT algoritmalarına örnek olarak Değiştir ve Gözle (D&G), kısa devre akımı, artımsal iletkenlik, açık devre gerilimi yöntemleri kullanılmaktadır. Bu algoritmalar eşit dağılımlı ışınım ve sıcaklık şartlarında maksimum güç noktasını iyi bir şekilde takip etmektedirler. Fakat kısmi gölgeleme şartları altında MGNT'nin doğruluk değerine ulaşamayabilir. Çünkü PV modüller kısmi gölgeleme şartları altında güç gerilim karakteristik eğrisinde birden çok yerel maksimum güç noktasına ve bir tane global maksimum güç noktasına sahip olacaktır. Bu nedenle geleneksel yöntemler yerel maksimum güç noktalarına yakalanıp global maksimum güç noktasını izlemede başarısız olmaktadır. Bu probleme çözüm yolu olarak meta sezgisel tabanlı algoritmalar geliştirilmiştir (Manickam, Raman, Raman, Ganesan, Nagamani, 2016).

Meta sezgisel algoritmaların formülasyonlarında yerel maksimum güç noktalarından uzaklaşmalarına imkan veren olasılıksal değişkenler kullanılmaktadır. Bu nedenle genellikle yerel maksimum güç noktalarına yakalanma problemleri ile karşı karşıya kalınmakta ve bunlara çözüm üretilmektedir (Fang, & Lian, 2017). Meta sezgisel algoritmalarla örnek olarak Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Guguk Kuşu Optimizasyon algoritması (GKO), Yapay Arı Kolonisi algoritması, Karınca Koloni Optimizasyonu, Ateşböceği algoritması gibi çeşitli algoritmalar verilebilir. Günümüzde PV enerji sistemlerinde MGNT metotları üzerine sayısız çalışmalar yapılmıştır. Basit, maliyeti düşük, yüksek performanslı ve hızlı bir MGNT yöntemi keşfetmek amacıyla araştırma - geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Miyatake ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda kısmi gölgeli koşullar altında Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yaklaşımı kullanılarak yeni bir MPPT algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritma, birden çok PV dizisini kontrol etmek için yalnızca bir çift sensör kullanılmaktadır. Bu durum uygulama açısından basitlik, daha düşük maliyet ve daha yüksek verimlilik sunmaktadır (Miyatake, Verachary, Toriumi, Fujii, & Ko, 2011). Shaiek ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, kısmi gölgeleme şartları altında DC-DC yükselticilerle bağlanan ve farklı tekniklerle kontrol edilen PV enerji sistemleri Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. D&G ve Artımsal İletkenlik algoritmalarının kısmi gölgeleme koşulları altında MPP'yi takip etmede başarısız olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Shaiek, Ben Smida, Sakly, & Mimouni, 2013).

Benyoucef ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, yeni bir yapay Arı Kolonisi tabanlı MPPT önerilmiştir. Önerilen yöntemin etkinliğini doğrulamak ve değişen hava koşullarında performansını izlemek için PSO tabanlı MPPT algoritması ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca önerilen yöntemi deneysel olarak doğrulamak için bir laboratuvar kurulumu gerçekleştirilmiştir (Benyoucef, Chouder, Kara, Silvestre, & Sahed, 2015). Kaced ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Yarasa Algoritması kullanarak kısmi gölgeleme koşulları altında PV enerji sistemleri için bir MPPT algoritması



önerilmiştir. Önerilen yöntemin performans analizi Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ek olarak D&G ve PSO yöntemleriyle karşılaştırma yapılmıştır (Kaced, Larbes, Ramzan, Bounabi, & Dahmane, 2017).

Abo-Elyousr ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Guguk kuşu Algoritması ve PSO algoritmalarını önerilmiştir. Sistemin programlama ve modelleme yapısı Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçları D&G algoritması ile karşılaştırılmıştır (Abo-Elyousr, Abdels haf, & Abdelaziz, 2018). Aygül ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, kısmi gölgeleme koşulları altında MPPT' nin izleme hızını iyileştirmek amacıyla Kelebek Optimizasyon Algoritmasını (KOA) kullanılmıştır. Tasarlanan model yapısı üzerinde Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak, üç farklı gölgeleme durumu için benzetim çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar PSO, Gri Kurt Optimizasyon Algoritması (GKOA) ve Yerçekimi Arama Algoritması (YAA) kullanılarak karşılaştırılmıştır (Aygül, Cikan, Demirdelen, & Tumoray, 2019).

Motamarri ve Nagu tarafından yapılan çalışmada, global MPPT için PSO algoritmasına dayalı hibrit bir yazılım (VPSO-LF) önerilmiştir. Önerilen yöntem Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar deneysel olarak doğrulanmıştır (Motamarri, & Nagu, 2020). Charin ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise, doğadan esinlenilmiş kontrol algoritmasının hibrit yapısı önerilmiştir. Önerilen algoritma yapısında, global MPP'yi elde etmek için Levy Uçuş Optimizasyonu (LUO) ve PSO'nun hibrit bir modeli kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara dayanılarak, hibrit yapıdaki LPSO algoritmasının yerel ve global maksimum güç noktasını etkin bir şekilde takip ettiği gösterilmiştir (Charin, Ishak, Zainuri, Ismail, & Jamil, 2021).

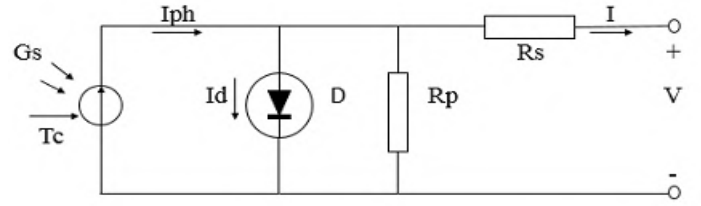
## 2. Fotovoltaik Enerji Sistemleri

Fotovoltaik etki, güneş panelleri yardımıyla ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesi işlemine denir. İlk defa 1839 yılında Alexandre Edmond Becquerel tarafından bu kavram ortaya atılmıştır. Becquerel bu kavramı, sıvı bir elektrolit çözeltiye batırılmış katı elektrot üzerine düşen ışığın elektrotun uçlarında gerilim meydana getirdiğini saptayarak açıklamıştır. PV enerji sistemleri, farklı ihtiyaç taleplerine ve uygulamalarına göre birçok şekilde tasarlanabilir. Sistem bileşenleri güneş panelleri, batarya (akü), invertör, şarj regülatörü ve bir kısım elektronik destek devrelerinden meydana gelmektedir.

Güneş panellerinin üzerine güneş ışığının düşmesiyle birlikte üretilen doğru akım büyüklüğü, sistem içerisinde farklı topolojilerde bulunabilen DC-DC dönüştürücüler vasıtasıyla sağlanır. Sağlanan bu akım eviriciler aracılığıyla alternatif akıma (AC) çevrilerek kullanıma sunulmaktadır. PV sistemler genellikle şebeke bağlantısız (off-grid), şebeke bağlantılı (on-grid) veya karma (hybrid) olmak üzere üç farklı grupta incelenmektedir.

### 2.1. Fotovoltaik Hücrenin Eşdeğer Devre Modeli

Tek diyotlu eşdeğer devre modeli, basitliği sebebiyle bir PV modül için en yaygın kullanılan modeldir. Devrede bir akım kaynağı ( $I_{ph}$ ), bir diyot, paralel bağlı ( $R_p$ ) bir direnç ve seri bağlı bir dirençten ( $R_s$ ) meydana gelmektedir (Nugraha, Lian, & Suwarno, 2019). Şekil 1'de tek diyotlu PV hücre yapısının elektriksel eşdeğer devre şeması gösterilmiştir.

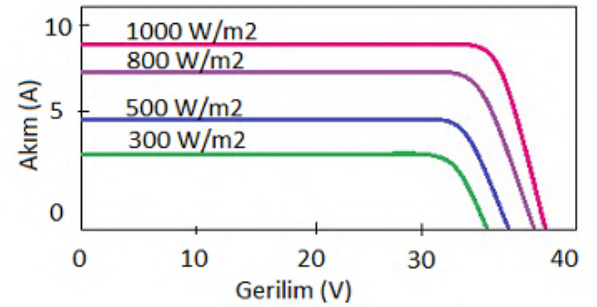


Şekil 1. Tek diyotlu PV hücre yapısının elektriksel eşdeğer devre şeması

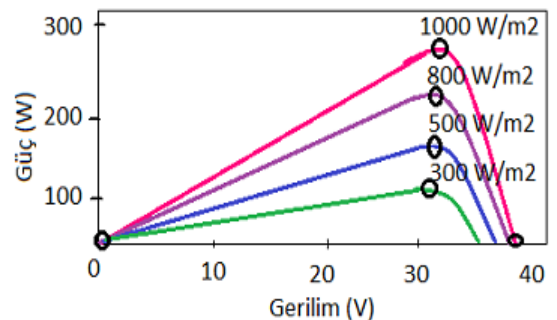
### 2.2. Farklı Işınım ve Sıcaklık Koşulları Altındaki Kompleks Yapılı Fotovoltaik Enerji Sistemlerinin İncelenmesi

Güneş panellerini birbirine seri, paralel ya da karma yapıda bağlayarak güç çıkışını arttırmak mümkündür. Bu şekilde oluşturulan sistemlere kompleks yapılı PV enerji sistemi denir. Bir PV modülden alınabilecek maksimum gücü belirleyen iki önemli etken güneş ışınımı ve sıcaklıktır. PV modülden üretilen güç, modül akımı ve gerilimi çarpılarak hesaplanır. PV sistemlerde verimliliğin değerlendirilmesinde standart bir test koşulu bulunmaktadır. PV panellerin kataloglarında genelde bu standart test koşullarındaki değerler yer almaktadır.

PV panellerin güç-gerilim karakteristik eğrisinde belirli bir gerilim ve akım değerlerine karşılık sağlanan maksimum güç noktası standart test koşullarında 1000 W/m<sup>2</sup> değerindedir. Işınım ve sıcaklık değeri ise 25°C modül sıcaklığı olarak tanımlanır. Fakat her zaman bu şartlar oluşmayabilir. PV modülün çıkış akım ve gerilim değerleri de bu durumdan etkilenir (Suryavanshi, Joshi, & Jangamshetti, 2012). Şekil 2'de 260 W gücüne sahip PV modülün farklı ışınım değerleri altındaki güç-gerilim karakteristik eğrileri gösterilmiştir. Şekil 3'te 260 W gücüne sahip PV modülün farklı ışınım değerleri altındaki akım-gerilim karakteristik eğrileri gösterilmiştir.

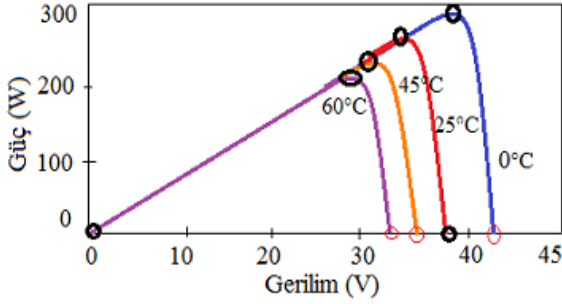


Şekil 2. Farklı ışınım değerleri altında PV hücre modülüne ait güç-gerilim karakteristik eğrileri

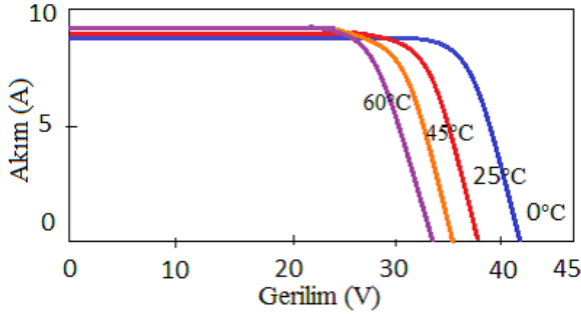


Şekil 3. Farklı ışınım değerleri altında PV hücre modülüne ait akım-gerilim karakteristik eğrileri

PV modülün sabit sıcaklık altındayken ışınım miktarının artması çıkış akımını artırmaktadır. Böylece PV sistemin maksimum çıkış gücü, akım değerindeki değişimden doğrudan etkileneceği için ışınım miktarındaki artış, çıkış gücünde artmasına neden olmaktadır. Şekil 4'te farklı sıcaklık değerleri altındaki aynı PV modül hücresinin güç-gerilim karakteristik eğrileri verilmiştir. Şekil 5'te farklı sıcaklık değerleri altındaki aynı PV modül hücresinin akım-gerilim karakteristik eğrileri verilmiştir.



Şekil 4: Farklı sıcaklık değerleri altında PV hücre modülüne ait güç-gerilim karakteristik eğrileri



Şekil 5: Farklı sıcaklık değerleri altında PV hücre modülüne ait akım-gerilim karakteristik eğrileri

PV modülün sabit ışınım altındayken sıcaklık değerinin artması çıkış gerilimi değerini azaltmaktadır. Böylelikle PV enerji sisteminin maksimum çıkış gücü, gerilim değerindeki azalmadan doğrudan olarak etkilenmekte ve sıcaklık değerindeki artış, çıkış gücü değerinin azalmasına sebep olmaktadır.

### 3. Materyal ve Metotlar

#### 3.1. Kısmi Gölgeleme Koşullarının PV Enerji Sistemlerine Etkisi

PV panel, sıcaklığın 25°C ve güneş ışınımının 1000 W/m<sup>2</sup> olduğu standart test koşullarında tek bir maksimum güç noktasına ulaşılır. Maksimum güç noktası takibinde tüm panellerin aynı hava şartlarında çalıştığı durumu göz önüne alınmaktadır. Ancak bu durum her zaman doğru değildir (Anoop, & Nandakumar, 2018). Güneş panellerinin başarımını etkileyen en önemli parametrelerden biri gölgeleme durumudur. Panelden alınacak olan güç değeri enerji üretim verimini gölgeleme şartlarına karşı daha duyarlı bir yapıya dönüştürmektedir. Güç kaybı, güneş panellerinin gölgeleme çeşidine ve gölgeli olan kısmın alanına bağlı olarak değişmektedir (Azharuddin, 2012).

PV panellerin üzerine hareket halindeki bulutların, yağmur damlacıklarının, toz parçacıklarının, ağaç dallarının, yüksek yapıların ya da diğer olası nesnelere gölgelerinin gelmesi gibi

çevresel etkenler sebebiyle kısmi gölgeleme şartları altında çalışma durumu ile karşılaşabilirler. Bu durumda güneş ışınımının daha az üzerine düştüğü güneş panelleri diğer panellere göre daha az miktarda akım üretecektir. Panellerin daha az miktarda akım üretmesi, panel güç değerinde de düşümlere neden olacaktır. Bu gibi durumlarda çalışmasını normal bir şekilde sürdürmeye devam eden PV panellerde üretilen yüksek akım miktarı, kısmi gölgeleme şartları altında çalışan panellere zarar vermektedir. Söz konusu zararı önlemek amacıyla her bir PV paneline paralel bağlı olacak şekilde bypass bağlı diyotlar kullanılmaktadır. Bu durumda oluşacak olan yüksek akım değeri bypass diyot devresinden geçerek kısmi gölgeleme şartları altında kalan PV panellerin zarar görmesini önleyecektir (Kandemir, 2020).

Kısmi gölgeleme şartları altında, PV sistemin güç-gerilim karakteristik eğrisinde birden çok yerel maksimum güç noktası (YMGN) ve bir tane en yüksek çıkış gücüne sahip global maksimum güç noktası (GMGN) vardır. Kısmi gölgeleme şartları sadece PV enerji sistemlerinin çıkış gücü ve çıkış gerilimi değerlerinin azalmasına etki etmemektedir. Aynı zamanda PV panellerde oluşacak olan sıcak nokta olaylarına neden olmaktadır. Bu durum PV modül hücrelerinin aşırı ısınmasına bağlı olarak fiziksel yapılarının zarar görmesine sebep olmaktadır. Bu tür istenmeyen olayları önlemek amacıyla yine her bir PV paneline paralel bağlı olacak şekilde bypass bağlı diyotlar kullanılır.

Bypass bağlı diyotlar kısmi gölgelemenin olmadığı normal çalışma koşullarında pasif durumda olup, sistem üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Ancak kısmi gölgeleme şartları altında, gölgelemenin olduğu ilgili PV panellerindeki bypass bağlı diyot devreleri aktif hale geçerek sıcak nokta durumuna karşı koruma sağlamış olurlar.

Bypass bağlı diyotlarının bu avantajlarının yanı sıra farklı sorunları da bulunmaktadır. Bu sorunlardan biri, kısmi gölgeleme şartları altında bypass bağlı diyot devresinin çalıştığı PV panel üzerinde güç ya da enerji üretiminin gerçekleştirilememesidir. Bu durumda maksimum güç seviyesi azalmaktadır. PV enerji sisteminin güç-gerilim karakteristik eğrisinde birden fazla tepe noktası oluşmakta ve sistem karmaşık bir yapı haline dönüşmektedir (Kandemir, 2020).

#### 3.2. DC-DC Dönüştürücüler

DC-DC dönüştürücüler, giriş kısmına uygulanan doğru akım gerilimini, darbe genişliğini ya da frekans değerini değiştirerek çıkış kısmına veren elektronik devrelerdir. DC-DC dönüştürücülerin çıkış gerilimi değerlerini azaltan, arttıran ve azaltan-arttıran gibi türleri bulunmaktadır. MGNT algoritmalarının başlıca amacı, dönüştürücü devresinin görev periyodunu kontrol etmektir (Behera, Behera, & Nayak, 2018). PV enerji sisteminin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlamanın başlıca yolu düzeneğe dönüştürücü devresi ilave etmektir.

DC-DC dönüştürücüde görev periyodunu değiştirilerek doğru akım çıkışı kontrol edilmektedir. Bu nedenle DC-DC dönüştürücüler sistemin en önemli elemanlarından biridir. Görev periyodu DC-DC dönüştürücüler arasında değişken empedans görevi göstermektedir. Çevresel şartlara göre maksimum güç noktası değiştiği durumda dönüştürücü devresi MGNT ile birlikte maksimum güç noktasını takip etmektedir (Dhivya, & Kumar, 2017).

### 3.3. Maksimum Güç Noktası Takibi

PV sistemlerin şebeke bağlantı yapısı nedeniyle maliyetleri yüksektir. Ayrıca PV hücrelerinden yüksek verimde elektrik enerjisi elde edilmesi hedeflenmektedir. Bu nedenle PV sistemler maksimum verimde kullanılması istenen sistemlerdir. Panel sıcaklığı, güneş ışınım değeri ve yük değişimine göre PV sistemlerin maksimum güç noktası değişkenlik göstermektedir. Özellikle sistem doğrudan yüke bağlı olduğu durumda PV sistemin maksimum güç noktasında çalışmadığı görülmektedir. Bundan dolayı, PV sistemin verimliliğini artırmak ve PV panellerden maksimum gücün çekilebilmesini sağlamak amacıyla (MGNT) maksimum güç noktası takibi yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir (Safari, & Mekhilef, 2011).

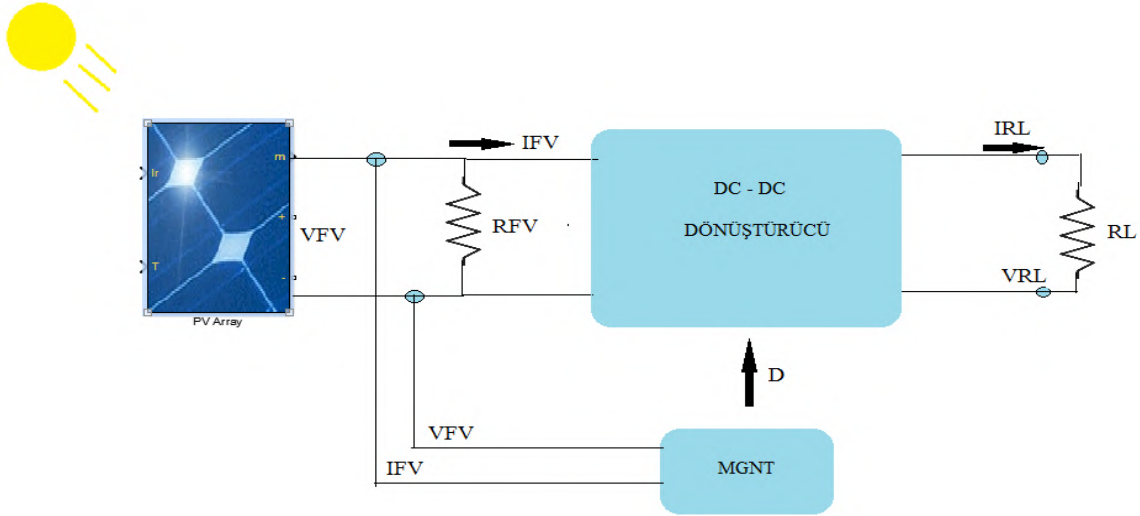
PV enerji sistemlerden maksimum güç üretebilmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Elektronik takip yöntemi bu yöntemlerden birisidir. Bu yöntemde, PV enerji sistemi güç değerinin maksimum olduğu noktayı bulmaktadır. Bu amaçla kullanılan metasezgisel algoritmalar, yapısındaki farklı senaryolar ile bu değeri korumayı ya da daha da geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu yöntem, maksimum güç noktası takibi (MGNT) olarak isimlendirilmektedir.

Maksimum güç noktası değerini sistemde kullanılan bir yazılım algoritması ile takip etmek, sistemde gereksiz malzeme ve bakım maliyeti oluşturmayacaktır. Bu nedenle MGNT algoritmaları PV panel veriminin artırılmasında en uygun yöntemdir. Literatürde yürütülen AR-GE çalışmaları MGNT

yöntemleri üzerinde yoğunlaşmaktadır (Santos, Antunes, Chehab, & Cruz, 2006).

Şekil 6'da MGNT sistemini içeren PV enerji sistemine ait blok diyagramı gösterilmiştir. Bu sistemde ölçülen akım ve gerilim değerleri MGNT yöntemi içerisinde kullanılan bir algoritma sayesinde darbe genişlik modülasyonunda (PWM) görev döngüsünü ayarlamakta ve DC-DC çevirici devresinin çıkışındaki sistem tarafından denetlenmektedir. MGNT yöntemleri karmaşıklık, takip hızı, doğruluk, yöntem tanınırlığı, maliyet vb. gibi etkenler sebebiyle birbirlerinden ayrılmaktadır (Esrām, & Chapman, 2007). PV panellerin maksimum güç noktasında çalıştırılmasını sağlamak amacıyla literatürde iki temel yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler geleneksel MGNT yöntemleri ve metasezgisel MGNT yöntemleridir.

Geleneksel yöntemler eşit dağılımlı güneş ışınması ve sabit sıcaklık şartları altında maksimum güç noktası takibini doğru bir şekilde yerine getirmektedirler. Fakat kısmi gölgelenme şartları altında maksimum güç noktası takibini doğru olarak yapamayabilirler. Çünkü PV modüller kısmi gölgelenme şartları altında güç gerilim karakteristik eğrisinde birden çok yerel maksimum güç noktasına ve sadece bir tane global maksimum güç noktasına sahip olacaktır. Bu durumda geleneksel yöntemler yerel maksimum güç noktalarına yakalanıp global maksimum güç noktasını izlemede başarısız olmaktadır. Bu problemin çözümü için metasezgisel tabanlı algoritmalar geliştirilmiştir. Tablo 1'de geleneksel ve metasezgisel algoritmaların özelliklerinin karşılaştırılması gösterilmiştir (Karakaya, 2021).



Şekil 6: MGNT sistemini içeren PV enerji sistemine ait blok diyagramı

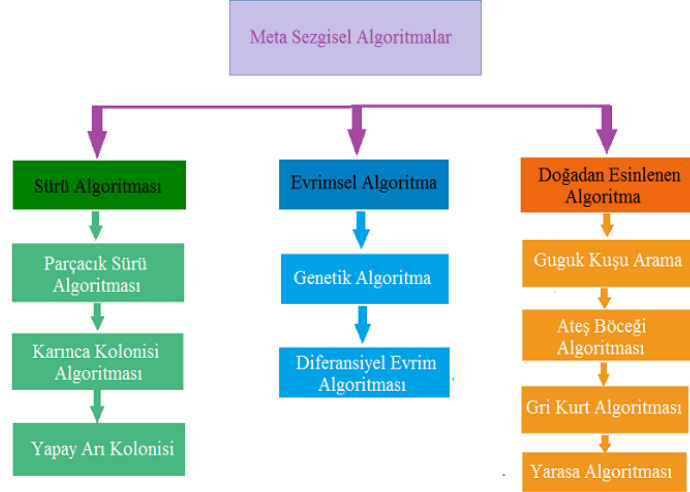
Tablo 1. Geleneksel ve metasezgisel algoritmaların özelliklerinin karşılaştırılması

	MGNT Yöntemleri	Parametreler	Takip Hızı	Doğruluğu	Karmaşıklık	Verim
Geleneksel Yöntemler	Değiştir & Gözle	Akım ve Gerilim	Düşük	Orta	Düşük	Orta
	Artan İletkenlik	Akım ve Gerilim	Düşük	Yüksek	Düşük	Orta
	Kısa Devre Akımı	Akım ve Gerilim	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
	Akım ve Gerilim Eğri Tarama	Akım ve Gerilim	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Metasezgisel Yöntemler	Genetik Algoritma	Akım ve Gerilim	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek
	Bulanık Mantık	Akım ve Gerilim	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek
	Yapay Sinir Ağları	Işınım, Akım ve Gerilim	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek
	Parçacık Sürü Optimizasyonu	Akım ve Gerilim	Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Yüksek
	Guguk Kuşu Arama Algoritması	Akım ve Gerilim	Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Yüksek
	Ateş Böceği Algoritması	Akım ve Gerilim	Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Yüksek



Tablo 1’de PSO algoritması diğer algoritmalar ile karşılaştırıldığında, takip hızının yüksek, karmaşıklığının orta, doğruluğunun çok yüksek ve veriminin yüksek olduğu görülmektedir. Bundan dolayı maksimum güç noktası takibinin PSO algoritması kullanılarak yüksek doğruluk değerlerinde yapılabildiği söylenebilir (Karakaya, 2021). Fernando ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda ise, kısmi gölgelenme şartları altında PSO algoritmasıyla maksimum güç noktası takibi önerilmiştir. Önerilen yöntem iki farklı kısmi gölgelenme konfigürasyonu oluşturularak P&O algoritmasıyla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda PSO algoritmasının üstünlüğü gösterilmiştir (Fernando, Sergio, Fabio, & Leonardo 2015). Badis ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda, kısmi gölgelenme şartları altında maksimum güç noktası takibini PSO algoritması ve Genetik Algoritma (GA) ile yapmışlardır. Çalışma sonucunda PSO algoritmasının GA’ya göre maksimum güç noktasını daha etkili izlediği sonucuna ulaşmışlardır (Badis, Mansouri, & Sakly, 2016).

Genellikle metasezgisel algoritmalar sistemde karşılaşılan problemlere bağlı olarak çalışmaktadırlar. Bu algoritmalar sistemde bazı problemlerin çözümünde başarılı bir performans gösterirken, bazı problemlerin çözümünde ise başarısız olmaktadır. Bundan dolayı çok daha genel alanda uygulama şansı bulan algoritmaların geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir (Karaboğa, 2011). Doğal hayatta türlü canlıların davranışlarından ilham alınarak oluşturulan metasezgisel optimizasyon algoritmaları, günümüzde pek çok farklı optimizasyon çalışmasında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Şekil 7’de metasezgisel tabanlı algoritmaların sınıflandırılması gösterilmiştir.



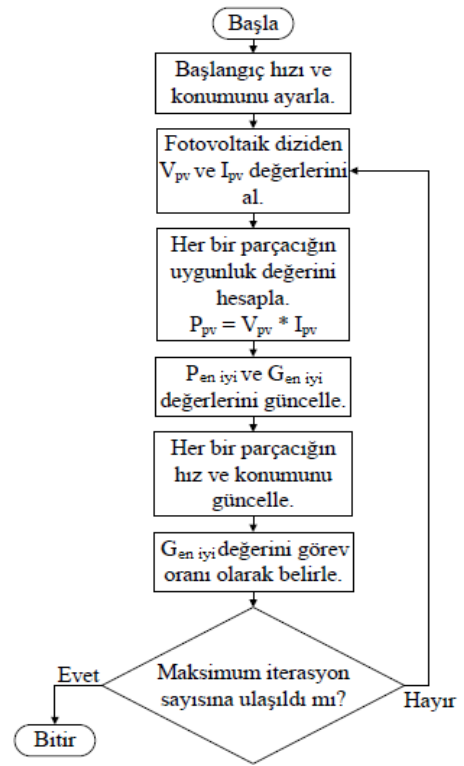
Şekil 7: Metasezgisel tabanlı algoritmaların sınıflandırılması

### 3.4. Maksimum Güç Noktası Takibinde Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algoritması Kullanımı

Parçacık Sürü Optimizasyonu, 1995 yılında Dr. Eberhart ve Dr. Kennedy tarafından geliştirilmiş, olasılıksal bir optimizasyon yöntemidir (Sun, Lou, Xi, Bao, Li, & Yan, 2018). Sürü halinde hareket eden kuş, balık vb. gibi bazı canlıların yiyecek aramak gibi temel gereksinimleri bulunmaktadır. Canlıların söz konusu gereksinimlerini giderirken gösterdikleri hareketler sürüdeki diğer bireyleri etkilemekte ve sürünün amacına daha rahat ulaşmasını kolaylaştırmaktadır. Yapısında çok sayıda değişken ve parametre bulunduran doğrusal olmayan problemlerin

çözümünde kullanılmaktadır (Kennedy, & Eberhart, 1995). PSO algoritmasında maksimum güç noktası takibinin işlem adımları rastgele çözümlerle başlar ve fonksiyon yapısı sürekli güncellenerek en uygun maksimum güç noktası değerleri tespit edilir. PSO algoritmasının iş akış diyagramında çaprazlama ve mutasyon işlemleri olmadığından dolayı uygulama adımları oldukça kolaydır.

Optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan PSO algoritması, n boyuta sahip bir arama alanındaki davranış modellerini, daha önceki davranış yapılarına bakarak incelemekte ve buna göre popülasyondaki diğer bireylerin davranış şekillerini düzenlemektedir. Arama alanındaki pozisyonu ve hızı ile belirtilen bu noktalar parçacık olarak isimlendirilirler. Popülasyon içerisindeki her bir parçacık optimizasyon probleminin çözümünü ifade eder (Azab, 2010). Şekil 8’de maksimum güç noktası takibinde kullanılan PSO algoritmasının iş akış diyagramı gösterilmiştir (Gümüş, & Demirtaş, 2021).



Şekil 8: PSO algoritmasının iş akış diyagramı

Diyagram incelendiğinde, PSO algoritması çalışmaya başladıktan sonra parçacıklar pozisyon ve hızlarını güncellemekte ve birbirini tekrar edecek şekilde en iyi konumunu bulmaktadır. Tüm tekrarlama adımlarında, her bir parçacık en iyi bulunan iki değer ile güncellenir. İlk değer, sürü içerisindeki her parçacığın kendi en iyi çözümüdür. Bu değer  $P_{eniyi}$  olarak tanımlanır. İkinci değer ise, sürüdeki tüm parçacıklar tarafından elde edilen en iyi global çözümdür ve  $G_{eniyi}$  olarak tanımlanır (Azab, 2010). Tekrarlama sırasında, sürüdeki her parçacığın bir uygunluk fonksiyonu tarafından saptanan uygunluk değeri ile parçacığın uçuş mesafesi ve doğrultusunu saptamak için kullanılan bir hız değeri bulunmaktadır (Liu, Zhu, Tao, Wang, & Blaabjerg, 2019). Arama işlemi esnasında, en iyi iki değer  $P_{eniyi}$  ve  $G_{eniyi}$  değerleri bulunduktan sonra, her parçacığın pozisyon ve hız bilgisi aşağıda verilen denklem (1) ve denklem (2) formülleri kullanılarak yeniden güncellenir (Azab, 2010).



$$x_i(k+1) = x_i(k) + V_i(k+1) \quad (1)$$

$$V_i(k+1) = w.V_i(k) + c_1.r_1.[P_{eniye} - x_i(k)] + c_2.r_2.[G_{eniye} - x_i(k)] \quad (2)$$

Denklem (1) ve denklem (2)'de;  $i$  parçacık sayısını,  $k$  tekrarlama sayısını,  $w$  atalet ağırlığını,  $r_1$  ve  $r_2$  değerleri sıfır ile bir arasında rastgele dağıtılmış olan değişken değerlerini,  $c_1$  ve  $c_2$  hızlandırma katsayılarını,  $P_{eniye}$   $i$ . parçacığın bulunduğu en iyi konum yerini,  $G_{eniye}$  tüm popülasyon içerisindeki parçacıkların bulunduğu en iyi konum yerlerini,  $x_i$   $i$ . parçacığın konum yerini,  $V_i$  ise  $i$ . parçacığın hız değerini belirtmektedir.

Global arama sonucunun en iyi çözüme yakınsamasını kontrol etmek amacıyla  $c_1$ ,  $c_2$  ve  $w$  değişkenleri kullanılır (Sagonda, & Folly, 2019). Atalet ağırlığı olarak isimlendirilen  $w$ , yerel ve global arama işlemleri arasındaki dengeyi sağlamak amacıyla kullanılır ve sıfır ile bir arasındaki bir değer olarak ayarlanır (Azab, 2010). Hızlandırma katsayıları olan  $c_1$ , parçacığın bilişsel ögesini,  $c_2$  ise parçacığın sosyal ögesini etkiler. Bu iki öge tarafından en uygun yakınsama işlemi gerçekleştirilir. Bu sebeple söz konusu bu iki ögenin doğru bir şekilde kontrol edilmesi oldukça önemlidir. Bilişsel öge, popülasyondaki parçacıkların  $P_{eniye}$  değerine doğru yönelmesini sağlar. Sosyal öge ise, parçacıkları belirlenen tekrarlama adımlarına kadar bulunacak olan en iyi global çözüm değerlerine doğru yönlendirir (Sagonda, & Folly, 2019). Her bir parçacığın konumu bir uygunluk fonksiyonuyla değerlendirilir (Ahmed, & Salam, 2013). Maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında PSO arama algoritması sonlandırılır (Teo, Lim, Chua, Goh, & Tan, 2014).

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Günümüzde kullanılan PV enerji sistemleri yeni teknolojiler içermeleri nedeniyle oldukça yüksek maliyetlere çıkmaktadır. Güncel teknolojilerden faydalanılarak PV enerji sistemlerinin şebeke bağlantı yapıları gerçekleştirilir. Şebeke yapısının karmaşık olması ve sistemde karşılaşılabilecek olan olası zorluklar PV güneş panellerinden üretilen elektrik enerjisinin düşük seviyelerde olmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerle PV enerji sistemlerinde maksimum güç noktası takibi yapılmakta ve elde edilecek olan verim değerinin yükseltilmesi hedeflenmektedir. Panel sıcaklığı, güneş ışınım miktarı ve yük değişim değerlerine göre PV sistemlerin maksimum güç noktası değerleri değişkenlik göstermekte ve mutlaka takibi gerekmektedir. Özellikle PV enerji sistemlerinin doğrudan yüke bağlı olduğu durumlarda, PV sistemin maksimum güç noktasında çalışmadığı görülmektedir. Bundan dolayı, PV sistemin verimliliğini artırmak, PV panellerinden maksimum gücün elde edilmesini sağlamak amacıyla (MGNT) maksimum güç noktası takip yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, geçmişten günümüze PV enerji sistemleri hakkında yapılmış olan bilimsel çalışmalar incelenmiştir. Kompleks yapıya sahip PV sistemlerdeki ışınım ve sıcaklık değerlerinin enerji sistemi üzerindeki olası etkilerinden bahsedilmiştir. Kısmi gölgelenme şartları altındaki PV enerji sistemlerinin şebeke üzerindeki olumsuz etkileri hakkında bilgiler verilmiştir. Farklı topolojilere sahip DC-DC dönüştürücü devrelerinin kompleks yapıya sahip PV enerji sistemleri ile birlikte tasarlanabileceğinden bahsedilmiştir. Maksimum güç noktası takip yöntemleri hakkında bilgiler verilmekte olup, geleneksel takip yöntemleri ile metasezgisel takip yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Ayrıca metasezgisel

yöntemlerinden biri olan ve maksimum güç noktası takibinde yaygın olarak kullanılan PSO algoritması hakkında bilgiler verilmiştir. Kompleks yapıya sahip PV enerji sistemleri için gerekli olan maksimum güç noktası takibinin PSO algoritması kullanılarak yüksek doğruluk değerlerinde yapılabildiği gösterilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda hibrit yapıya sahip farklı tipteki metasezgisel algoritmalar kullanılarak PV enerji sistemlerinin maksimum güç noktaları takip edilebilir ve en verimli çalışma aralıkları belirlenebilir. Elde edilen bu değerler karşılaştırmalı olarak verilerek verim analizleri yapılabilir.

#### Kaynakça

- Abo-Elyousr, F.K., Abdelshaf, M. & Abdelaziz, A.Y. (2018). MPPT-based particle swarm and cuckoo search algorithms for PV systems. *Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems*, 379-400.
- Ahmed, J. & Salam, Z. (2013). A soft computing MPPT for PV system based on cuckoo search algorithm. *4<sup>th</sup> International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, Istanbul, 558-562.
- Anoop, K. & Nandakumar, M. (2018). A novel maximum power point tracking method based on particle swarm optimization combined with one cycle control. *International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing (PICC)*, Thrissur, 1-6.
- Aygül, K., Cikan, M., Demirdelen, T. & Tumay, M. (2019). Butterfly optimization algorithm based maximum power point tracking of photovoltaic systems under partial shading condition. *Energy Sources Part A Recovery Utilization and Environmental Effects*, <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1677818>
- Azab, M. (2010). Optimal power point tracking for stand-alone PV system using particle swarm optimization. *2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Bari, 969-973.
- Azharuddin, M. (2012). Effects of shading on the power of photovoltaic arrays. *Purdue University, Yüksek Lisans Tezi*.
- Badis, A., Mansouri, M.N. & Sakly A. (2016). PSO and GA-based maximum power point tracking for partially shaded photovoltaic systems. *7<sup>th</sup> International Renewable Energy Congress (IREC)*, Tunisia.
- Behera, T.K., Behera, M.K. & Nayak, N. (2018). Spider monkey based improve P&O MPPT controller for photovoltaic generation system. *2018 Technologies for Smart-City Energy Security and Power (ICSESP)*, Bhubaneswar, 1-6.
- Benyoucef, A.S, Chouder, A., Kara, K., Silvestre, S. & Sahed, O.A. (2015). Artificial bee colony based algorithm for maximum power point tracking (MPPT) for PV systems operating under partial shaded conditions. *ELSEVIER*, 38-48.
- Bholane, R.R. & Babu P.S., (2018). Grid connected PV System using FB-PSO. *International Conference on Smart Electric Drives & Power System (ICSEDPS)*, doi:10.1109/ICSEDPS.2018.8536065.
- Charin, C., Ishak, D., Zainuri, M.A.A.M., Ismail, B. & Jamil, M.K.M. (2021). A hybrid of bio-inspired algorithm based on levy flight and particle swarm optimizations for photovoltaic system under partial shading conditions. *Solar Energy*, 1-14.
- Çetinbaş, I., Tamyürek, B. & Demirtaş, M. (2019). Energy management of a PV energy system and a plugged-in electric vehicle based micro-grid designed for residential applications. *8<sup>th</sup> International Conference on Renewable*

- Energy Research and Applications (ICRERA)*, Brasov, Romania, 991-996.
- Çetinbaş, I., Tamyürek, B., Demirtaş, M. (2019). Design, analysis, and optimization of a hybrid microgrid system using HOMER software: Eskişehir Osmangazi University Example. *Int. Journal of Renewable Energy Development*, 8(1): 65-79.
- Dhivya, P. & Kumar, K.R. (2017). MPPT based control of sepic converter using firefly algorithm for solar PV system under partial shaded conditions. *International Conference on Innovations in Green Energy and Healthcare Technologies (IGEHT)*, Coimbatore, 1-8.
- Esrām, T. & Chapman, P.L. (2007). Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 439-449.
- Fernando, M.O., Sergio, A.O. da Silva, Fábio, R. Durand & Leonardo, P. Sampaio (2015). Application of PSO method for maximum power point extraction in photovoltaic systems under partial shading conditions. *IEEE 13<sup>th</sup> Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC)*, Brazil.
- Fang, G.J. & Lian, K.L. (2017). A maximum power point tracking method based on multiple perturb-and-observe method for overcoming solar partial shaded problems. *6<sup>th</sup> International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Santa Margherita Ligure, 68-73.
- Gümüş, Z. & Demirtaş, M. (2021). Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası takibinde kullanılan algoritmaların kısmi gölgeleme koşulları altında karşılaştırılması. *Politeknik Dergisi*, 24(3): 853 – 865.
- Kaced, K., Larbes, C., Ramzan, N., Bounabi, M. & Dahmane, Z.E. (2017). Bat algorithm based maximum power point tracking for photovoltaic system under partial shading conditions. *Solar Energy*, 490-503.
- Kandemir, E. (2020). Kısmi gölgeleme koşullarında maksimum güç noktasında çalışan enerji geri kazanımlı tek dönüştürücülü şebeke bağlantılı PV sistem tasarımı ve uygulaması. *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, İzmir, 1-2-10-47.
- Karaboğa, D. (2011). Yapay zekâ optimizasyon algoritmaları. *Nobel Yayınları*, ISBN 978-605-395-434-7, 18.
- Karagöz, M.K. (2020). FV sistemler için kısmi gölge koşullarını yönetebilen yarasa algoritması tabanlı maksimum güç noktası izleyici tasarımı ve gerçekleştirilmesi. *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi*, Karabük, 2.
- Karakaya, H.B. (2021). Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktasının takibi için kullanılan optimizasyon algoritmalarının performansının değerlendirilmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş, 21.
- Kennedy, J. & Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. *IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth, Australia, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, 1942-1948.
- Liu, G., Zhu, J., Tao, H., Wang, W. & Blaabjerg, F. (2019). A MPPT algorithm based on PSO for PV array under partially shaded condition. *22<sup>nd</sup> International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, Harbin, China, 1-5.
- Manickam, C., Raman, G.R., Raman, G.P., Ganesan, S.I. & Nagamani, C. (2016). A hybrid algorithm for tracking of gmpp based on P&O and PSO with reduced power oscillation in string inverters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63: 6097-6106.
- Miyateke, M., Verachary, M., Toriumi, F., Fujii, N. & Ko, H. (2011). Maximum power point tracking of multiple photovoltaic arrays: A PSO Approach. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 47 (1): 367-380.
- Motamarri, R. & Nagu, B. (2020). GMPPT by using PSO based on levy flight for photovoltaic system under partial shading conditions. *IET Renewable Power Generation*, 1143-1155.
- Nugraha, D.A., Lian K.L. & Suwarno (2019). A novel MPPT method based on cuckoo search algorithm and golden section search algorithm for partially shaded pv system. *Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, 42:173-182.
- Safari, A. & Mekhilef, S. (2011). Simulation and hardware implementation of incremental conductance MPPT with direct control method using cuk converter. *IEEE Trans. Ind. Electron*, 1154-1161.
- Sagonda, A.F. & Folly, K.A. (2019). Maximum power point tracking in solar PV under partial shading conditions using stochastic optimization techniques. *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, Wellington, New Zealand, 1967-1974.
- Santos, J.L., Antunes, F., Chehab, A. & Cruz, C. (2006). A maximum power point tracker for FV systems using a high performance boost converter. *Solar Energy*, 772-778.
- Shaiek, Y., Ben Smida, M., Sakly, A. & Mimouni, M.F. (2013). Comparison between conventional methods and GA approach for maximum power point tracking of shaded solar PV generators. *Solar Energy*, 107-122.
- Sun, Y., Lou, Z., Xi, Z., Bao, Z., Li, X. & Yan, W. (2018). Composite MPPT control algorithm with partial shading on PV arrays. *IEEE 4<sup>th</sup> Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC)*, Chongqing, China, 898-902.
- Suryavanshi, R., Joshi, D.R. & Jangamshetti, S.H. (2012). PSO and P&O based MPPT technique for spv panel under varying atmospheric conditions. *International Conference on Power, Signals, Controls and Computation*, Kerala, 1-6.
- Teo, K.T.K., Lim, P.Y., Chua, B.L., Goh, H.H. & Tan, M.K. (2014). Maximum power point tracking of partially shaded photovoltaic arrays using particle swarm optimization. *4<sup>th</sup> International Conference on Artificial Intelligence with Applications in Engineering and Technology*, Kota Kinabalu, 247-252.
- Ünlü, M. (2015). Fotovoltaik sistemler için parçalı gölgeleme durumlarında maksimum güç noktası izleyebilen şebeke bağlantılı yeni bir evirici tasarımı ve uygulaması. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Kocaeli.



# Two-Phase Numerical Modelling of a Wet Exhaust System in a Catamaran Motor Yacht Diesel Engine

Alihan Cambaz<sup>\*1</sup>, Yasin Furkan Gorgulu<sup>2</sup>, Halit Arat<sup>3</sup>

<sup>\*1</sup> SU Ar-Ge Dizayn ve Mühendislik A.Ş., 77000, Yalova-Turkey, (ORCID: 0000-0001-6632-978X), [cambazalihan7@gmail.com](mailto:cambazalihan7@gmail.com)

<sup>2</sup> Mechatronics Engineering Department, Istanbul Health & Technology University Engineering and Natural Sciences Faculty, 34025, Istanbul-Turkey, (ORCID: 0000-0002-1828-2849), [furkan.gorgulu@istun.edu.tr](mailto:furkan.gorgulu@istun.edu.tr)

<sup>3</sup> Mechanical Engineering Department, Kutahya Dumlupınar University Engineering Faculty, 43270, Kutahya-Turkey, (ORCID: 0000-0002-6634-2535), [halit.arat@du.edu.tr](mailto:halit.arat@du.edu.tr)

(First received 8 October 2021 and in final form 10 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1007351)

**ATIF/REFERENCE:** Cambaz, A., Gorgulu, Y. F. & Arat, H. (2021). Two-Phase Numerical Modelling of a Wet Exhaust System in a Catamaran Motor Yacht Diesel Engine. *European Journal of Science and Technology*, (31), 165-170.

## Abstract

In this study, multiphase temperature distributions and volume fractions through a wet exhaust system were investigated as 3D by using a comprehensive numerical model in a yacht diesel engine. For this purpose, the Volume of Fluid multiphase model was selected as the numerical model. Fuel exhausts are generally located underwater to ensure a modern yacht appearance and minimize exhaust noise. A scoop is positioned above the catamaran yacht exhaust to control water pressure, exhaust gases, and cooling water flow distribution. Besides, two types of fluids have been used, one of which is the hot exhaust gas the other is the cooling water used in the nozzle. The design has been created using Ansys SpaceClaim, and the cooling water is sprayed from the 60° tip of the nozzle. Moreover, the mesh used in the simulation has 1,405,113 elements, 523,125 nodes, and the average mesh skewness is 0.46, the average orthogonal quality of the mesh is 0.64. The Realizable k-ε turbulence model has been used in the simulations. According to the results, the flow fully develops after 1.5 seconds, and the water nozzle sprays the water along the tube cools the exhaust gases. Also, the stagnation points occurring at the elbow fitting of the tube are striking when the velocity contours and velocity vectors are examined.

**Keywords:** Wet exhaust system, Marine diesel engine, CFD, Thermal performance, Two-phase flow.

## Bir Katamaran Motoryat Dizel Motorunda Bir Islak Egzoz Sisteminin İki Fazlı Sayısal Modellenmesi

### Öz

Bu çalışmada, bir yat dizel motorunda kapsamlı sayısal model kullanılarak ıslak egzoz sisteminden çok fazlı sıcaklık dağılımları ve hacim fraksiyonları 3 boyutlu olarak incelenmiştir. Bu amaçla sayısal model olarak Volume of Fluid çok fazlı modeli seçilmiştir. Yakıt egzozları, modern bir yat görünümü sağlamak ve egzoz gürültüsünü en aza indirmek için genellikle su altında bulunmaktadır. Su basıncını, egzoz gazlarını ve soğutma suyu akış dağıtımını yönetmek için katamaran yat egzozunun üzerine bir muhafaza yerleştirilmiştir. Bununla birlikte, nozulda kullanılan sıcak egzoz gazı ve soğutma suyu olmak üzere iki tip akışkan kullanılmıştır. Tasarım Ansys SpaceClaim kullanılarak oluşturulmuştur ve soğutma suyu nozulun 60° ucundan püskürtülecek şekilde ele alınmıştır. Dahası simülasyonda kullanılan yapısal ağ 1.405.113 elemana ve 523.125 düğüme sahiptir ve ortalama yapısal ağın çarpıklığı 0,46, meshin ortalama ortogonal kalitesi 0,64'tür. Simülasyonlarda Realizable k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, 1,5 saniye sonra akış tam olarak gelişmekte ve su nozulu, suyu boru boyunca püskürtmekte ve egzoz gazlarını soğutmaktadır. Ayrıca hız konturları ve hız vektörleri incelendiğinde borunun dirsek bağlantı noktasında meydana gelen durma noktaları dikkat çekicidir.

**Anahtar Kelimeler:** Islak egzoz sistemi, Deniz dizel motoru, CFD, Termal performans, İki fazlı akış.

\* Corresponding Author: [cambazalihan7@gmail.com](mailto:cambazalihan7@gmail.com)



## 1. Introduction

In recent days, air pollution caused by diesel-powered automobiles and ships has been one of the most critical damages of global warming (Aydın & İlkılıç, 2017; X. C. Wang et al., 2019). The ships' diesel engine emissions have significantly contributed to environmental issues such as acidification, eutrophication, and potential health dangers (Magnusson et al., 2016; Ryu et al., 2020). In order to avoid these harmful effects, global organizations like International Maritime Organisation (IMO) enacted some regulations related to reducing ozone-depleting substances and greenhouse gas (GHGs) emissions (Blasco et al., 2014). Moreover, several countries are working on energy-saving and emission-reduction technologies for ships. One of them is the selective catalytic reduction (SCR) system, which has a remarkable denitrification effect. (M. Wang et al., 2019). NO<sub>x</sub> produced during the combustion process is decreased downstream of the engine using SCR technology, which is a post-treatment technique (Hao et al., 2022; Lee et al., 2021). The exhaust gas temperature at the SCR system's inlet is a crucial parameter in SCR operating (Foteinos et al., 2020).

The exhaust gases pass through the SCR discharge into the atmosphere air or seawater with the exhaust systems. These systems containing different techniques like backpressure control, noise attenuation, anti-vibration, exhaust cooling are used to meet the required standards (*Engineering Techniques - MarQuip B.V. Exclusive Yacht Exhausts*, n.d.). In general, a few of these techniques are collocated, as in wet exhaust systems, which reduce noise, heat, and scent. The wet exhaust injects cooling water into the piping, and so the exhaust pushes the water out of the piping (*Dry and Wet Exhaust. - AB Marine Service*, n.d.; *Exhaust System Basics / West Marine*, n.d.). Other advantages of underwater discharge are that it reduces the risk of hot spot detection on naval ships and improves the aesthetics of luxury ships by eliminating bulky and unattractive vertical exhaust funnels that cross the deck. However, the exhaust gases go through a flow resistance due to the pressure applied by the water at the outlet of underwater exhaust systems (H. Sapra et al., 2017).

There are rare studies on the backpressure of marine exhaust systems, although these work items with some limitations are

more important for marines. Sapra et al. (H. D. Sapra et al., 2020) have experimentally tested the marine diesel engine performance to reveal single and multiple backpressure waves of different amplitudes and wave durations. Fernoaga et al. (Fernoaga et al., 2020) have analyzed experimental data from instrumentalized diesel engine test-beds as training data for artificial neural network analysis and regressors to examine the impact of exhaust backpressure characteristics. Besides, Zhu et al. (Zhu et al., 2020) have simulated the vaporizer/mixer of high-pressure SCR in a marine diesel engine to investigate the parameters like chemical reaction, pressure loss, flow velocity, and species concentration uniformity as a numerical study from the literature.

According to the previous studies in the literature, the exhaust systems of marine diesel engines aim to reduce harmful emissions and find pressure loss. In this study, the multiphase temperature distributions and volume fractions through a wet exhaust system were investigated as 3D by using a comprehensive numerical model in a yacht diesel engine.

## 2. Material and Method

### 2.1. Catamaran Yacht Engine Underwater Exhaust System

Fuel exhausts are generally located underwater to ensure a modern yacht appearance and minimize exhaust noise. A scoop is positioned above the catamaran yacht exhaust to control water pressure, exhaust gases, and cooling water flow distribution. Modeling and simulating tools are being used to analyze the impact of various flow parameters on designs. Ansys Fluent has been used in the study for simulating the exhaust gases and the cooling water. The method of utilizing Computational Fluid Dynamics (CFD) to forecast the performance is aimed in the study. Therefore, it provides significant benefits in terms of increased understanding, decreased uncertainty, and the elimination of the need for lengthy physical testing (*Case Study: CFD Simulation of an Underwater Yacht Exhaust - Femto Engineering - Femto Engineering*, n.d.). A catamaran motor yacht can be seen in Figure 1.

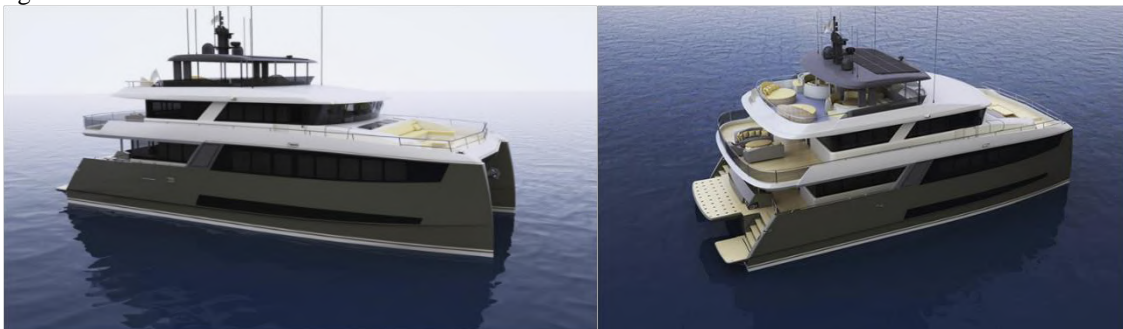


Figure 1. A catamaran motor yacht (Zeng, 2021).

The catamaran yacht has a MAN marine engine with a 4,880-kW engine output. Therefore, the engine exhaust system has been designed according to the engine details. In the literature and also in applications, various exhaust designs are being used. A water-cooled wet exhaust system has been

designed for the catamaran yacht. The design has been created using Ansys SpaceClaim. The design is shown in Figure 2 and the exhaust gas inlet, water inlet, and outlet. The cooling water is sprayed from the 60° tip of the nozzle.



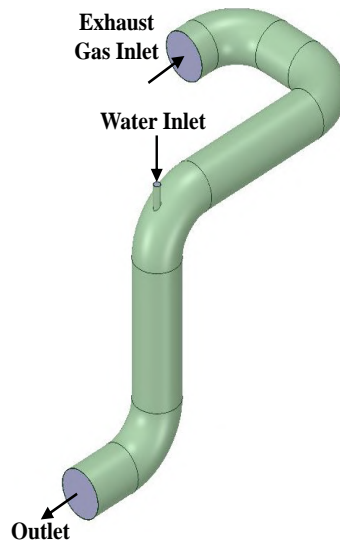


Figure 2. The exhaust design for the catamaran yacht.

## 2.1. Computational Fluid Mechanics (CFD)

Ansys Fluent has been used as the flow simulation program in the study. Two types of fluids have been used: the hot exhaust gas the other is the cooling water used in the nozzle. There are several methods for two-phase flow simulations, such as Level Set, Front Tracking Scheme, and Volume of Fluid methods (M & Tomar, 2021; Prosperetti & Tryggvason, 2007; Tryggvason et al., 2003). In order to model a two-phase flow, the Volume of Fluid method designed to track the location and motion of free surface between two or more immiscible has been used (Arat et al., 2021; Guerrero et al., 2017). The volume of the two phases is fully conserved utilizing the volume of fluid techniques with geometric advection. The Realizable k-epsilon ( $k-\epsilon$ ) turbulence model has been used in the simulations. The realizable k-turbulence model benefits from improving predictions for the effuse rate of planar and round jets. Realizable k- $\epsilon$  shows a more

remarkable performance to capture the mean flow of complicated structures in nearly every comparison. It also performs other flow types better, such as boundary layers under high-pressure gradients, recirculation rotation, and separation (Bardina et al., 1997; *K-Epsilon Models*, 2011; Nesbitt et al., 1992). Ansys placed control mechanisms such as orthogonal quality and skewness ratios for understanding the quality of the mesh. It is recommended the average skewness values be between the range of 0.25-0.50 is an excellent quality mesh. For the orthogonal quality, that range reaches out to 0.20-0.69 and is considered good quality (Ansys Inc., 2011; GORGULU et al., 2021). In this case, the average mesh skewness is 0.46, the average orthogonal quality of the mesh is 0.64. The mesh used in the simulation has 1,405,113 elements and 523,125 nodes. The mesh structure of the catamaran yacht exhaust and the close-up view of the nozzle are given in Figure 3.

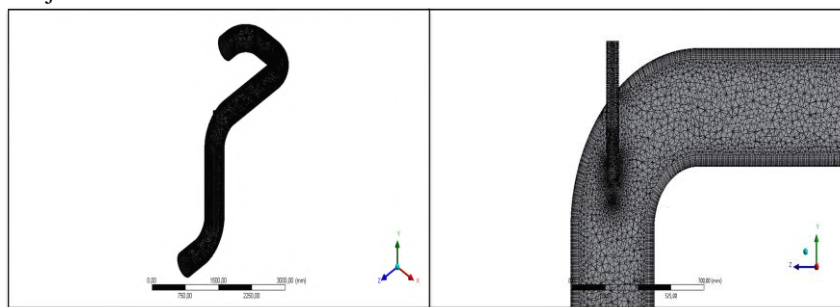
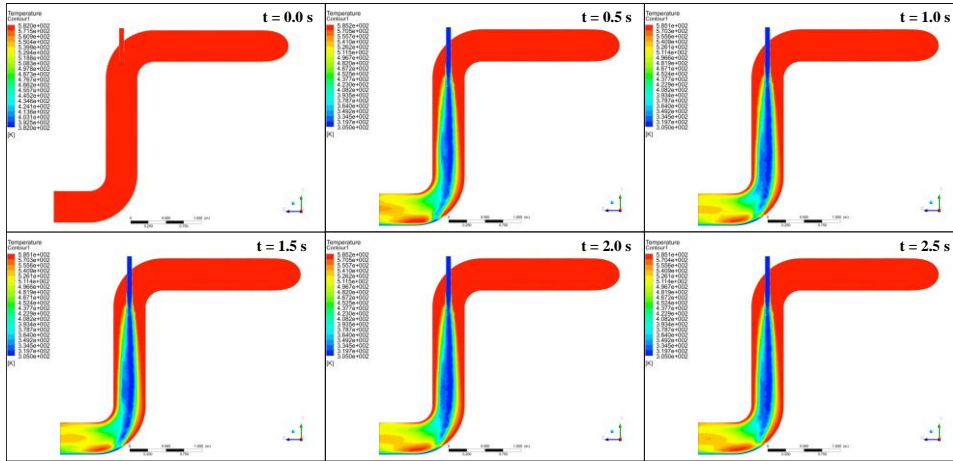


Figure 3. The mesh structure of the catamaran yacht exhaust and close-up view of the nozzle.

The transient and time-dependent solution has been used throughout the simulation. The simulation has a total of 2.5-second duration. Two fluid inlets have been defined in the simulation. One of the inlets is a hot exhaust gas inlet, and the other is the cold-water inlet. Gas enters the tube with a velocity of 40 m/s and a temperature value of 585 K, while the nozzle sprays the water with a four m/s velocity at 305 K.

## 3. Results and Discussion

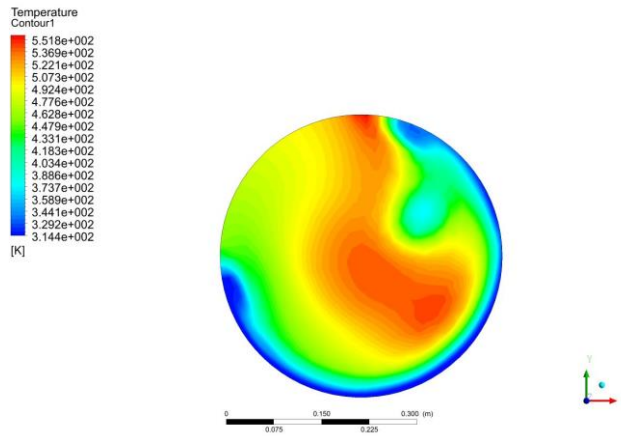
The multiphase temperature distributions and volume fractions through a wet exhaust system were investigated as 3D using a comprehensive numerical model in a yacht diesel engine. Temperature contours have been taken with a time interval of 0.5 seconds, and they are demonstrated in Figure 4.



*Figure 4. The temperature contours of the catamaran yacht exhaust.*

According to Figure 4, it can be stated that as the flow fully develops, the water nozzle sprays the water along the tube cools the exhaust gases. At the lowest level of the tubes, there is a water stagnation at the 90 degrees elbow fitting due to the

friction. Another contour has been taken at the exhaust outlet to understand the temperature change that occurred just before it was released into the atmosphere. It can be seen in Figure 5.



*Figure 5. The temperature contours at the exhaust outlet.*

It is clear that the walls are primarily cooled in Figure 5. As proceeded to the center, the temperature is increased. A heterogeneous contour draws attention. This indicates that the design needs to be further optimized in terms of temperature

distribution. The temperature values are changed between 314.4K and 551.8K. Other than the temperature distributions, velocity and pressure contours have been created. The velocity contours and vectors for different locations are given in Figure 6.

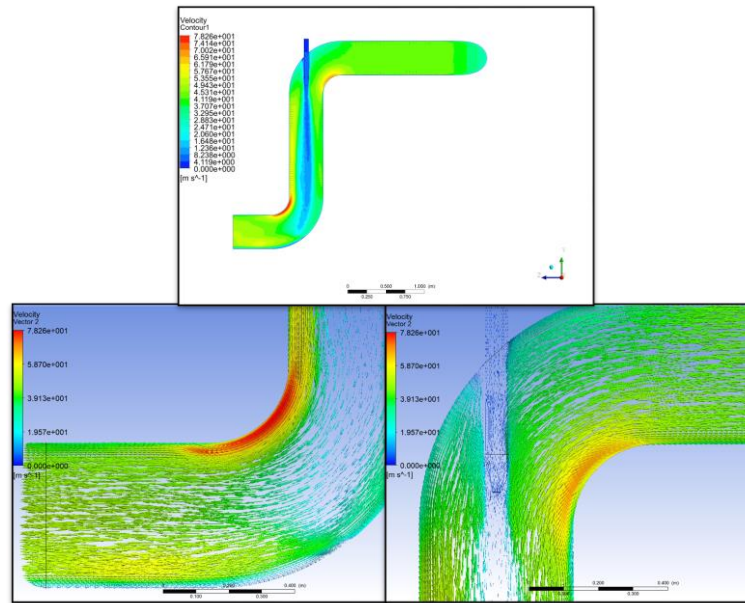


Figure 6. The velocity contours and vector view of the catamaran yacht exhaust.

In Figure 6., the first picture shows the velocity contours, and the others are the velocity vector views at elbow fittings. When the velocity contours and velocity vectors are examined, the stagnation points occurring at the elbow fitting of the tube are striking (Ozkara et al., 2019). The flow occurring in the

elbows in the exhaust design can be seen in the figure, allowing designers to design according to the flow events here. Also, there might be tips to eliminate these issues in future work. The numerical pressure contours are given in Figure 7.

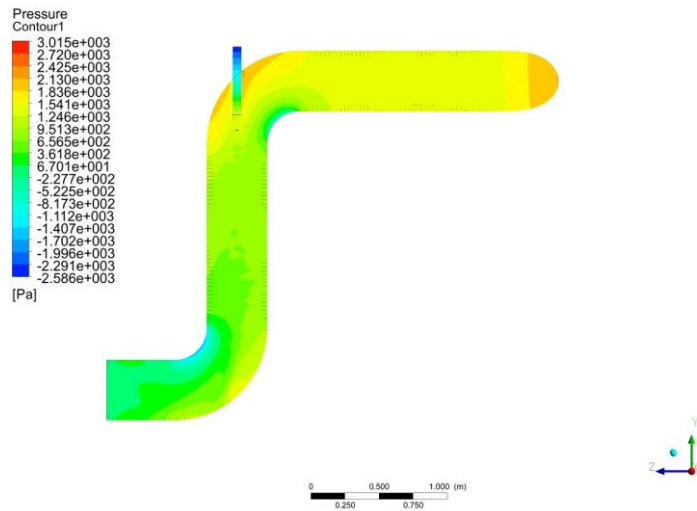


Figure 7. The pressure contours of the catamaran yacht exhaust.

#### 4. Conclusions and Recommendations

In this study, the multiphase temperature distributions and volume fractions through a wet exhaust system were investigated as 3D using a comprehensive numerical model in a yacht diesel engine. For this purpose, the Volume of Fluid multiphase model was selected as the numerical model. Also, the Realizable k-ε turbulence model has been used in the simulations performed as transient and time-dependent with a total of 2.5-second duration.

According to the results, the flow fully develops after 1.5 seconds, and the water nozzle sprays the water along the tube cools the exhaust gases. Also, the stagnation points occurring at the elbow fitting of the tube are striking when the velocity

contours and velocity vectors are examined. Moreover, the pressure increase is observed where exhaust gas and cooling water meet with shocks at some points. On the other hand, the flow occurring in the elbows in the exhaust design allows the designers to design according to the flow events, and also, there might be tips to eliminate these issues in future work. Furthermore, the numerical analysis of the underwater wet exhaust system will continue as a parametric study with different designs in detail.

#### 5. Acknowledge

The authors would like to express their appreciation to “SU Ar-Ge Dizayn ve Mühendislik A.Ş.” for their assistance throughout the study.

The authors declare that they have no conflict of interest. Also, the research presented in the manuscript did not receive any external funding.

## References

- Ansyst Inc. (2011). *Introduction to Ansys Meshing* (pp. L5-16). Ansys Inc.
- Arat, H., Arslan, O., Ercetin, U., & Akbulut, A. (2021). A comprehensive numerical investigation of unsteady-state two-phase flow in gravity assisted heat pipe enclosure. *Thermal Science and Engineering Progress*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100993>
- Aydın, H., & İlkılıç, C. (2017). Air pollution, pollutant emissions and harmful effects. *Journal of Engineering and Technology*, 1(1), 8–15.
- Bardina, J. E., Huang, P. G., & Coakley, T. J. (1997). Turbulence modeling validation. *28th Fluid Dynamics Conference, April*. <https://doi.org/10.2514/6.1997-2121>
- Blasco, J., Durán-Grados, V., Hampel, M., & Moreno-Gutiérrez, J. (2014). Towards an integrated environmental risk assessment of emissions from ships' propulsion systems. *Environment International*, 66. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.01.014>
- Case study: CFD Simulation of an underwater yacht exhaust - Femto Engineering - Femto Engineering. (n.d.). Retrieved September 7, 2021, from <https://www.femto.eu/stories/cfd-simulation-yacht-exhaust/>
- Dry and wet exhaust. - AB Marine service. (n.d.). *Engineering techniques - MarQuip B.V. Exclusive Yacht exhausts*. (n.d.).
- Exhaust System Basics | West Marine. (n.d.).
- Fernoaga, V., Sandu, V., & Balan, T. (2020). Artificial intelligence for the prediction of exhaust back pressure effect on the performance of diesel engines. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(20). <https://doi.org/10.3390/app10207370>
- Foteinos, M. I., Christofilis, G. I., & Kyrtatos, N. P. (2020). Response of a direct-drive large marine two-stroke engine coupled to a selective catalytic reduction exhaust aftertreatment system when operating in waves. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 234(3). <https://doi.org/10.1177/1475090219899543>
- GORGULU, Y. F., OZGUR, M. A., & KOSE, R. (2021). CFD analysis of a NACA 0009 aerofoil at a low reynolds number. *Journal of Polytechnic*, 0900, 0–1. <https://doi.org/10.2339/politeknik.877391>
- Guerrero, E., Muñoz, F., & Ratkovich, N. (2017). Comparison between eulerian and vof models for two-phase flow assessment in vertical pipes. *CTyF - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 7(1), 73–84. <https://doi.org/10.29047/01225383.66>
- Hao, C., Zhang, C., Zhang, J., Wu, J., Yue, Y., & Qian, G. (2022). An efficient strategy to screen an effective catalyst for NOx-SCR by deducing surface species using DRIFTS. *Journal of Colloid and Interface Science*, 606, 677–687. <https://doi.org/10.1016/J.JCIS.2021.08.070>
- K-epsilon models. (2011). [https://www.cfd-online.com/Wiki/K-epsilon\\_models](https://www.cfd-online.com/Wiki/K-epsilon_models)
- Lee, Y., Lee, S., Lee, S., Choi, H., & Min, K. (2021). Characteristics of NOx emission of light-duty diesel vehicle with LNT and SCR system by season and RDE phase. *Science of the Total Environment*, 782, 146750. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146750>
- M, A., & Tomar, G. (2021). Interface reconstruction and advection schemes for volume of fluid method in axisymmetric coordinates. *Journal of Computational Physics*, 110663. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2021.110663>
- Magnusson, M., Fridell, E., & Härelind, H. (2016). Improved low-temperature activity for marine selective catalytic reduction systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 230(1). <https://doi.org/10.1177/1475090214536546>
- Nesbitt, T. S., Arevalo, J. A., Tanji, J. L., Morgan, W. A., & Aved, B. (1992). Will family physicians really return to obstetrics if malpractice insurance premiums decline? *The Journal of the American Board of Family Practice / American Board of Family Practice*, 5(4), 413–418. <https://doi.org/10.3122/jabfm.5.4.413>
- Ozkara, M., Ercetin, U., Doner, N., & Sen, F. (2019). Numerical Investigations of Stall Development in a Transonic Axial Compressor Stage. *BioNanoScience*, 9(2), 461–473. <https://doi.org/10.1007/s12668-019-0599-7>
- Prosperetti, A., & Tryggvason, G. (2007). *Computational Methods for Multiphase Flow* (Vol. 148). Cambridge University Press.
- Ryu, Y., Kim, T., Kim, J., & Nam, J. (2020). Marine Science and Engineering Investigation on the Emission Characteristics with a Wet-Type Exhaust Gas Cleaning System for Marine Diesel Engine Application. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(11), 850. <https://doi.org/10.3390/jmse8110850>
- Sapra, H. D., Singh, J., Dijkstra, C., de Vos, P., & Visser, K. (2020). Experimental investigations of marine diesel engine performance against dynamic back pressure at varying sea-states due to underwater exhaust systems. *ASME 2019 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference, ICEF 2019*. <https://doi.org/10.1115/ICEF2019-7216>
- Sapra, H., Godjevac, M., Visser, K., Stapersma, D., & Dijkstra, C. (2017). Experimental and simulation-based investigations of marine diesel engine performance against static back pressure. *Applied Energy*, 204. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.111>
- Tryggvason, G., Scardovelli, R., & Zaleski, S. (2003). Direct numerical simulations of multiphase flow. In *Multiphase Science and Technology* (Vol. 15, Issues 1–4). <https://doi.org/10.1615/MultScienTechn.v15.i1-4.190>
- Wang, M., Zhang, H., & Gong, W. (2019). Research on airflow uniformity of marine selective catalytic reduction reverse blow system. *The Journal of Engineering*, 2019(23), 9083–9087. <https://doi.org/10.1049/JOE.2018.9190>
- Wang, X. C., Klemeš, J. J., Dong, X., Fan, W., Xu, Z., Wang, Y., & Varbanov, P. S. (2019). Air pollution terrain nexus: A review considering energy generation and consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105(December 2018), 71–85. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.049>
- Zeng, L. (2021). *25-Meter catamaran*. <https://grabcad.com/library/25-meter-catamaran-2>
- Zhu, Y., Li, T., Xia, C., Feng, Y., & Zhou, S. (2020). Simulation analysis on vaporizer/mixer performance of the high-pressure SCR system in a marine diesel. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.107819>





# Akımsız Kaplama Tekniği ile Üretilen Seramik Esaslı Kompozitlerin Ultrases ile Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması

Ahmet Yönetken<sup>1\*</sup>, Vildan Özkan Bilici<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Department of Electrical Engineering, Afyonkarahisar, Turkey, (ORCID: 0000 0003 1844 7233),  
yonetken@aku.edu.tr

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, Afyonkarahisar/ Turkey, (ORCID: 0000-0002-3077-2103),  
vildanozkan@aku.edu.tr,

(İlk Geliş Tarihi 09 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 23 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1007528)

**ATIF/REFERENCE:** Yonetken A., Bilici Ozkan V., (2021). The Effect of Mechanical Properties on the Ultrasonic Velocity of Ceramic Based Composites Fabricated by Electroless Coating Technique. *European Journal of Science and Technology*, (31), 171-175.

## Özet

Bu çalışmanın kapsamı, WC esaslı kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile ultrasonik hızın değişimini araştırmaktır. Havacılık ve otomotiv endüstrilerinde kullanılan malzemeler yüksek sıcaklıklara, sürtünmeye ve yüksek gerilimlere maruz kaldığından kesme diskleri ve kesici uçlar gibi imalat uygulamalarında kullanılan metal matrisli kompozit malzemelere olan ihtiyaç hızla artmıştır. WC ile güçlendirilmiş Ni-Ti metal matrisli kompozitler, tek eksenli hidrolik preste dairesel olarak şekillendirilmiştir. %30 Ni, %2 Ti ve %68 WC tozlarından oluşan karışım 1000°C-1400°C'de argon atmosferinde tüp fırında sinterlenmiş ve akımsız kaplama tekniği ile üretilmiştir. Numunelerin mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemek için XRD (X-Işınları kırınımı, SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu), sıkıştırma testi, sertlik ve ultrasonik hız ölçümleri kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, artan sinterleme sıcaklığı ile ultrasonik hız değerlerinin polinom olarak lineer bir şekilde arttığını göstermiştir. Ayrıca en yüksek sinterleme sıcaklığının 1400°C'de 429,1HV sertlik ile sonuçlanması yapının daha sağlam ve yoğun hale geldiğinin bir göstergesidir. Sinterleme sıcaklığının artmasıyla ultrasonik hızlardaki değişim yapıdaki bağlanmanın daha iyi gerçekleştiğinin kanıtıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Ultrasonik hız, Sinterleme sıcaklığı, Akımsız kaplama, Darbe yankı

## The Effect of Mechanical Properties on the Ultrasonic Velocity of Ceramic Based Composites Fabricated by Electroless Coating Technique

### Abstract

The scope of the present study is to investigate the change of ultrasonic velocity with the physical and mechanical properties of Ni-Ti-WC composites. Since the materials used in the aerospace and automotive industries are exposed to high temperatures, friction and high stresses, the need for metal matrix composite materials used in manufacturing applications such as cutting discs and inserts has increased rapidly. Ni-Ti metal matrix composites reinforced with WC were circularly shaped in uniaxial hydraulic press. A mixture of 30% Ni, 2% Ti and 68% WC powders was sintered at 1000°C-1400°C with argon atmosphere in a tube furnace and were fabricated by electroless plating technique. XRD (X-Ray diffraction), SEM (Scanning Electron Microscope), compressive testing, hardness and ultrasonic velocity measurements were employed to investigate the mechanical and physical properties of specimens. Experimental results showed that ultrasound velocity values increased polynomial linearly with increasing sintering temperature. In addition, the fact that the highest sintering temperature resulted in 429.1HV hardness at 1400°C is an indication that the structure has become more robust and compact. The change in ultrasonic velocities with the increase in sintering temperature is proof that the bonding in the structure is better and the particle growth is well achieved.

**Keywords:** Ultrasonic velocity, Sintering temperature, Electroless Coating, Pulse echo

\* Corresponding Author: [yonetken@aku.edu.tr](mailto:yonetken@aku.edu.tr)

## 1. Introduction

Composite materials containing a heterogeneous system with an electrodeposited metal and micrometer sized particles have ever been of great interest to engineers and scientists and nowadays are still important for many applications in terms of its usage areas and psycho-mechanical properties. (Anik and Korpe 2007, Mallory and Hadju 1990, Zhang et al. 2005, Bindra et al. 1984, Agarwala and Agarwala V. 2003). Electroless nickel plating technique is widely used in many fields; therefore, it provides a high-performance product with high density, wear and corrosion resistance. This method has many advantages over other methods such as easy formation of a continuous and uniform coating on the complex shaped substrate surface, low cost, homogeneity (Agarwala and Agarwala V. 2003, Chen et al. 2003, Surender et al. 2004). Today, since the quality of WC-based composite materials is generally represented by high strength and hardness criteria in powder metallurgy, it is known that they are used in places where high strength is required and in cutting tips. In addition, sintering regimes are applied on ceramic-metal composite materials with WC in order to obtain the desired mechanical properties with various additions (Mc Candlish et al. 1995, Li et al. 2006, Gaard et al. 2006). Since ultrasonic methods do not damage both the tested sample and the tissue, they can be applied to determine the strength, pores and defects in the material of composites. Many studies have revealed the relationships between the properties of solid materials (hardness, fracture strength, tensile strength, strength, etc.) and the ultrasound properties of attenuation and wave

velocity. In addition, particle size measurements and the use of spreading areas have increased to determine the homogeneity in the structure of the metal (Sarpün et al. 2009, Eren and Kurama 2012, Bhaskar 2011, Mažeika et al. 2010, Bilici Özkan et al. 2021).

In this study; Ni-Ti-WC composite samples were produced by electroless nickel plating technique at different temperatures. The properties of the new produced Ni-Ti-WC composites were correlated with the ultrasonic velocity and mechanical properties, which is one of the ultrasonic properties, by using the pulse-echo method, which is one of the non-destructive testing methods.

## 2. Materials and Methods

In the study, the proportions of the composite composition were determined by considering the information in the literature. Composites were prepared by electroless nickel plating method, which is one of the catalytic plating methods. WC and Ti powders were used in electroless coating samples and they were coated separately with nickel by electroless method and then shaped again in a hydraulic press under 305.9 kg/cm<sup>2</sup> pressure. The samples, which were shaped with a diameter of 15 mm and a height of 3-4 mm, were sintered in an argon gas atmosphere for 2 hours in a tube furnace at a temperature range of 1000 °C - 1400°C. Thus, the samples were made ready for physical, mechanical and metallographic analyses. In electroless Ni plating baths, 68%WC and 2%Ti powders, Nickel chloride, ammonia, hydrazine hydrate and distilled water are used. The contents of the coating baths are given in Table 1.

Table 1. Chemicals and properties of Ni plating bath and their ratios

Chemicals	Conditions
Tungsten Carbide (WC)	20,4g
Titanium (Ti)	2g
Nickel Chloride (NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O)	32g
Hydrazine Hydrate (N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O)	20%
Distilled Water	80%
Ammonia	250-300 ml
Temperature (°C)	90-96°C
pH value	9-10

Pulse-echo method, which is one of the ultrasonic measurement methods, was used to measure the ultrasonic velocity values of the prepared samples. It is a method based on measuring the reflected or transmitted parts of the sound wave in terms of amplitude and time in detecting a discontinuity with different acoustic impedance in the material by ultrasonic examination. The longitudinal ultrasonic velocity ( $V_L$ ) measurements of the samples were made with the Sonatest Sitscan 150 model ultrasonic wave flow detector. A 2 MHz receiver/transmitter probe (Sonatest SLH2-10) was used for ultrasonic wave velocity measurements. The image of the ultrasonic wave sent to the sample with the transmitter/receiver transducer on the screen on the flow detector was obtained as reflection peaks and echo peaks, and the ultrasonic velocity values were measured by using the calibration and thickness measurements. SEM-EDX analyzes of the samples, which were sintered between 1000°C -1400°C in the tube furnace, were

performed with the LEO 1430 VP device equipped with Röntec EDX at 2kX magnification and the images were taken. In addition, Shimadzu-AG/IS 100kN test device was used to measure the compressive strength of the samples and Shimadzu HMV 2L brand microhardness device was used to measure the microhardness of the samples. Microhardness measurements were obtained by averaging the microhardness values. The hardness values obtained from 10 different regions of each composite sample are given by taking their average. The ( $d=m/V$ ) formula was used to calculate the volumetric changes after sintering of the composite samples prepared at 30% Ni, 2% Ti and 68% WC ratios, which were sintered at different temperatures, and Archimedes' principle was used to take the measurements of the samples.

### 3. Results and Discussion

Sintering temperatures, density, microhardness and compressive strength of Ni-Ti-WC composite samples, depending on the devices and methods used, are shown in Table 2. In addition, ultrasonic velocity values of metalmatrix

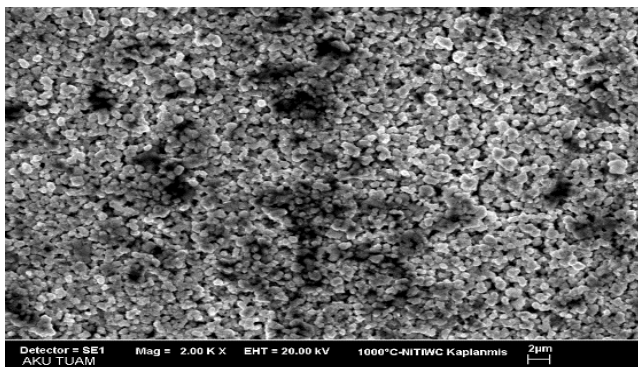
composite samples produced at different temperatures were calculated using pulse-echo technique at room temperature. (Table 2).

Table 2. Physical, mechanical properties and sintering temperature data of metalc matrix composite samples

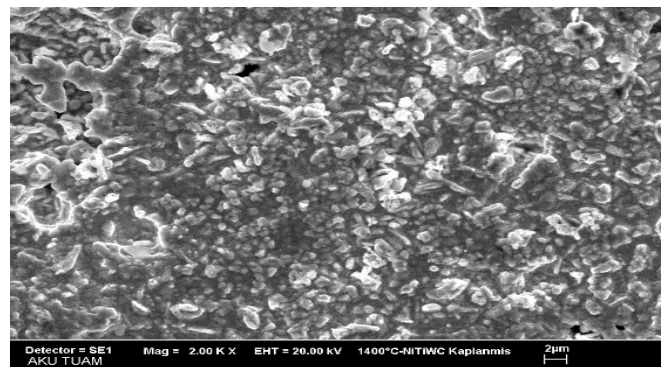
Composite Samples	Sintering Temperature (°C)	$V_L$ , (m/s)	Hardness (0.05 HV)	Compression strength (MPa)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
30%Ni-2%Ti-68%WC	1000	2731.5 ± 23	252.4	2.803	6.4251
	1100	2800.5 ± 23	255.1	3.521	6.1214
	1200	3033 ± 19	281.3	13.552	6.3063
	1300	3821 ± 9	310	53.501	6.6556
	1400	4212.5 ± 12	429.1	157.787	8.4701

SEM analysis was carried out to examine whether the coating made after the nickel plating process was in the 30% Ni-2%Ti-68% WC composite sample and to examine the structural changes. SEM and XRD analysis results of the coated sample obtained from powders (30%Ni-2%Ti-68%WC) sintered only at 1000°C and 1400°C were shown in Figure 1 and Figure 2. The reason why metallographic analyzes of only samples sintered at 1000°C and 1400°C are taken is that the microstructural change

between the initial and final temperature value can be seen more clearly. When the SEM images were compared, it was seen that the particles adhered to each other, the reinforcing powder particles in the structure were connected to each other with a neck tie and the particles grew. In addition, homogeneously distributed pores surrounding the reinforcement particles were observed between the grains.

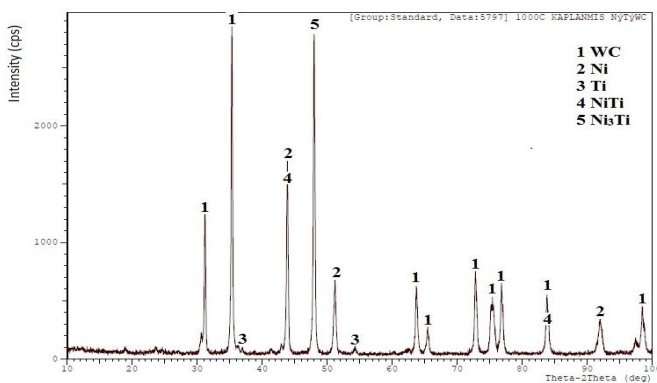


(a)

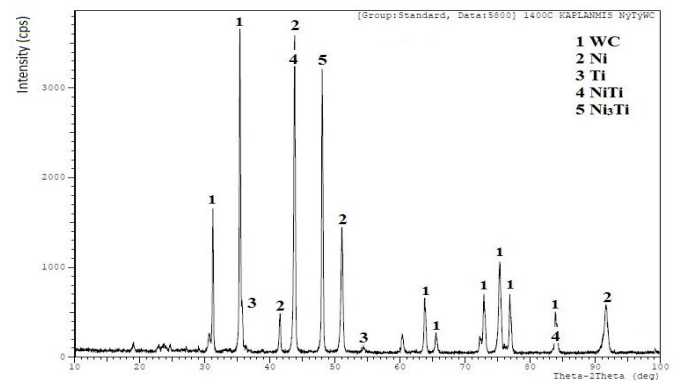


(b)

Figure 1. SEM micrographs of samples sintered at the temperature of a) 1000 °C and b) 1400°C for two hours.



(a)

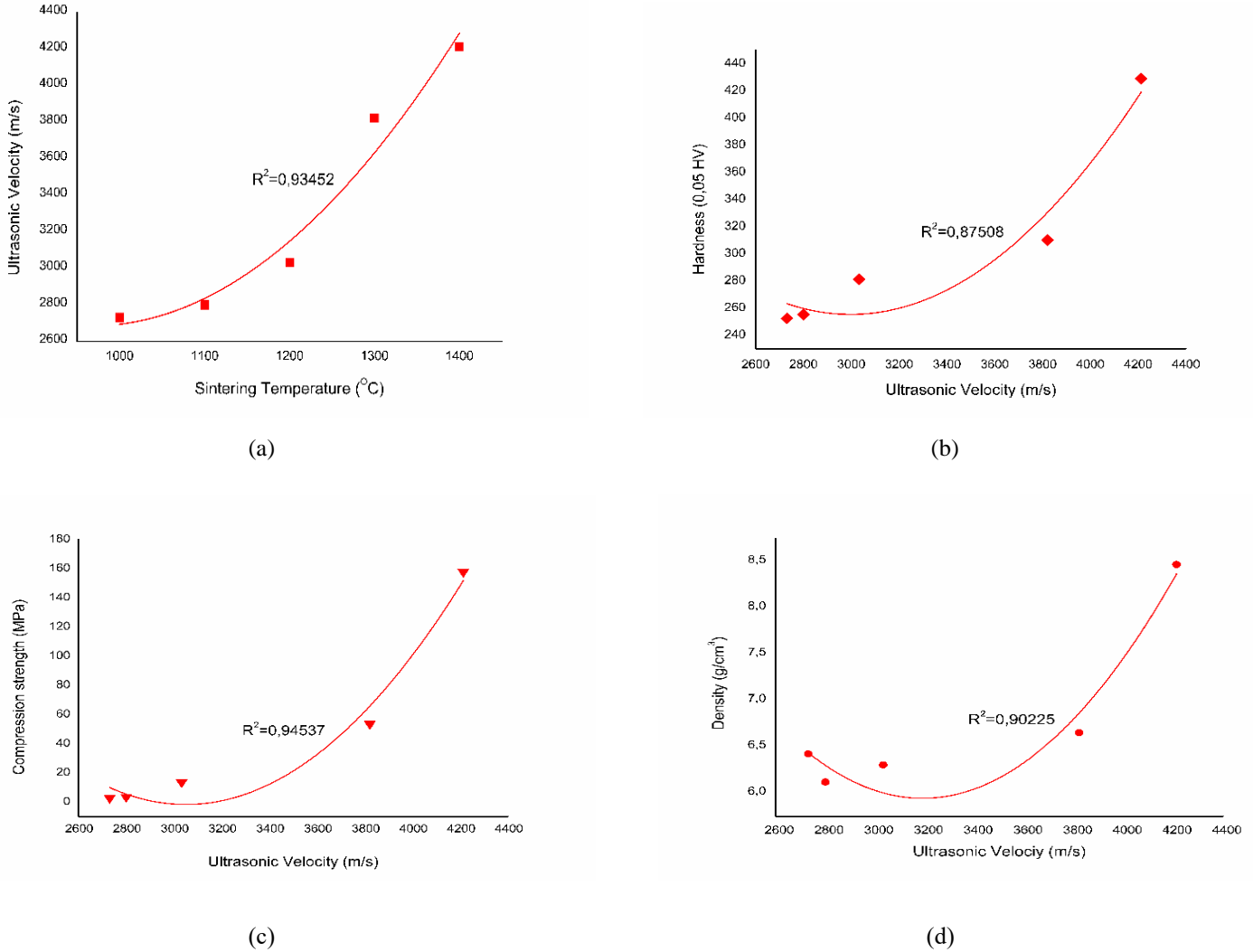


(b)

Figure 2. The XRD analysis result of composite sintered at the temperature of a) 1000 °C and b) 1400 °C for two hours.

In Figure 2, the Ni, Ti, NiTi, Ni<sub>3</sub>Ti and WC peaks were in the XRD analysis of the Ni-Ti-WC composite sintered in the tube furnace at 1000°C and 1400°C. XRD analysis results clarified the phases and precipitates formed in the samples. The strong nickel peak in the XRD analysis results indicated that the structure was composed of nickel matrix. It could also be seen that WC was reinforced with NiTi and Ni<sub>3</sub>Ti metallic phases.

The relationship between the physical properties and mechanical properties of the coated samples after microstructural analysis could be seen in Table 2. Accordingly, calibration curves were drawn using the sintering temperature, ultrasonic velocity, hardness, compressive strength and density values of the samples given in Table 2 in the study (Figure 3).



**Figure 3.** Relationship between ultrasonic velocity and mechanical properties of composites

When the changes in ultrasonic velocity and sintering temperature, density, microhardness and compressive strength for coated samples were examined respectively, it was seen that there was a regular increase. Considering the temperature change of the heat-treated samples, the particles in contact with each other in the sample became more bonded to each other at higher temperatures with increasing sintering temperature. As in the SEM images, this bonding at 1400°C was manifested by necking between the contacting particles. The presence of necking means that the durability increases compared to the raw durability, which is manifested by an increase in the hardness and compression strength values. So that the wave will encounter some particle boundary in the sample, the particles sticking together and the increase in particle size with the growth of the particles should result in increased propagation velocity of the wave. The increase in ultrasonic velocity values with the increase of sintering temperature confirms this. It is a

polynomial approximation since the increments are a curvature rather than linearity. Polynomial regression may give the best approximation to the relationship between dependent and independent variable. This approach can basically fit a wide range of curvature. The obtained measurement results and correlation coefficients also confirm this. In addition, it is seen in Figure 3 that as the sintering temperature increases in Ni-Ti-WC composite samples, the density increases. As the sintering temperature increases, sintering becomes easier, more dense samples are obtained (Karabulut et. al. 2013).

#### 4. Conclusion

The aim of this study is to observe and characterize the relationship between the mechanical properties of WC matrix composites and the ultrasonic wave velocity.



The samples produced by electroless nickel plating technique at different temperatures were characterized. In the study, ultrasonic pulse-echo technique was used effectively for the characterization of 30%Ni-2%Ti-68%WC composite properties. The results of the study show that ultrasonic velocity measurement is a reliable tool for the characterization of hardness, sintering temperature, compressive strength and density in Ni-Ti-WC composites.

In addition, the highest density (8.4701gr/cm<sup>3</sup>), the highest hardness (429.1HV) and the highest compressive strength (157.79 MPa) values in the composite consisting of 30%Ni, 2%Ti and 68%WC powders sintered at different temperatures, 1400° C was obtained. It has been determined that the best physical and mechanical properties for the 30%Ni, 2%Ti and 68%WC composition are at 1400°C. When the polynomial changes in the graphs were examined, it was observed that the ultrasonic velocity values and the sintering temperature, hardness, compression strength and density values increased. The best approach to the relationship between dependent and independent variable gives polynomial regression. The fact that the correlation coefficient is close to 1 also supports it.

## References

- Agarwala R.C. and Agarwala V., 2003. Electroless alloy/composite coatings: A review, *Sadhana* **V. 28**, Parts 3 & 4, p. 475–493.
- Anik M., Korpe E., 2007. Effect of Alloy Microstructure on Electroless NiP Deposition Behavior on Alloy AZ91, *Surface & Coatings Technology* **V. 8-201**, p. 4702–4710
- Bhaskar, A., 2011. Characterization of hollow particulate and graded composites using ultrasonic technique, *Master's Theses*, University of Rhode Island
- Bilici Özkan V., Yönetken A., Erol A., 2021. Characterization of Physical and Mechanical Properties of Ni-Co-WC Ceramic-Metal Composites Using Ultrasonics”, *5th International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences*, 02-06 August 2021, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
- Bindra P., Light D., Rath D., 1984, Mechanisms of electroless metal plating: I. Mixed potential theory and the interdependence of partial reactions, *IBM J. Res. Develop.* **V.28(6)**, pp. 668-678.
- Chen Y., Cao M., Xu Q. ve Zhu J., 2003. Electroless Nickel Plating on Silicon Carbide Nanoparticles, *Surface and Coatings Technology*, **172(1)**,p. 90-94.
- Eren E., Kurama S., 2012. Characterization of Mechanical Properties of Porcelain Tile Using Ultrasonics”, *Gazi University Journal of Science (GU J Sci.)*, **25(3)**, p. 761-768.
- Gaard A., Krakhmalev P., Bergstrom J., 2006. Microstructural characterization and wear behavior of (Fe,Ni) TiC MMC prepared by DMLS, *Journal of Alloys and Compounds*, **421**, p. 166–171
- Karabulut H., Çıtak R., Çinici H., 2013. Mekanik Alaşım Suresinin Al+% 10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kompozitlerde Eğme Dayanımına Etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **28(3)**, p. 635-643.
- Li T., Li Q., Fuha J.Y.H., Yu P. C., Wu C.C., 2006. Effects of Lower Cobalt Binder Concentrations in Sintering of Tungsten Carbide, *Materials Science and Engineering A*: **430**, p. 113–119.
- Mallory G.O., Hadju J.B., 1990. Electroless Plating: Fundamentals and Applications, *American Electroplaters and Surface Finishers Society*, Orlando.
- Mažeika L., Šlitteris R., Vladišauskas A., 2010, Measurement of velocity and attenuation for ultrasonic longitudinal waves in the polyethylene samples”, ISSN 1392-2114, *Ultragarsas (Ultrasound)*, **V 65(4)**, p.12-15.
- Mc Candlish L. E., Seegopaul P., Sadangi R. K., 1995. Inhibition of WC Grain Growth During Sintering of WC-Co Powder Compacts, *Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials*, **V: 3**, p.13-23.
- Sarpün İ.H., Özkan V., Ünal R., Tuncel S., 2009. Mean grain size evaluation of tungsten- and boron-carbide composites sintered at various temperatures by ultrasonic methods”, *Int. J. Microstructure and Materials Properties*, **V 4(1)**, p. 104-111.
- Surender M., Balasubramaniam R. and Basu B., 2004. Electrochemical Behaviour of Electrodeposited Ni-WC Composite Coatings, *Surface and Coatings Technology* **187(1)**, pp.93-97.
- Zhang Q., Wu, M., and Wen Z., 2005. Electroless nickel plating on hollow glass microspheres”, *Surface & Coatings Technology*, **192**, p. 213– 219.



# Farklı Emülgatörler Kullanılarak Oluşturulan Nanoemülsiyonların Domates Posasındaki $\beta$ -Karotenin Biyoerişilebilirliğine Etkisi

Merve Tomas<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1057-7914), [mervetomas@gmail.com](mailto:mervetomas@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 11 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1007976)

**ATIF/REFERENCE:** Tomas, M. (2021). Farklı Emülgatörler Kullanılarak Oluşturulan Nanoemülsiyonların Domates Posasındaki  $\beta$ -Karotenin Biyoerişilebilirliğine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 176-181.

## Öz

Domatesin endüstriyel olarak işlenmesi ile posa açığa çıkmakta ve bu posalar çevresel ve ekonomik yönlerden sorun teşkil etmektedir. Domates posası sağlık üzerine yararlı etkileri ile iyi bilinen  $\beta$ -karoten bileşimini içermektedir.  $\beta$ -karotenin suda çözünürlüğünün düşük olması ve lipofilik yapısından dolayı biyoerişilebilirliği düşüktür. Bu çalışmada, sodyum kazeinat, tween 20 ve tween 80 emülfiyerleri ve mısır yağı ile nanoemülsiyonlar oluşturulup domates posası ile homojenize edilerek içerisinde bulunan  $\beta$ -karotenin biyoerişilebilirliğinin artırılması amaçlanmıştır. *In vitro* sindirim sonrasında emülsiyonların partikül boyutları (273-351 nm), sindirim öncesine (150-185 nm) kıyasla artış göstermiştir. Sindirim sonrasında, örneklerin toplam fenolik madde ve toplam antioksidan kapasitelerinde posaya kıyasla nanoemülsiyon ile homojenize edilmiş posa örneklerinde istatistiksel olarak önemli artış tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ).  $\beta$ -karotenin yüzde biyoerişilebilirliği azalan sıralamaya göre sodyum kazeinat (%93) > Tween 20 (%92) > Tween 80 (%58) > posa+yağ (%11) > posa (%9) olarak bulunmuştur. *In vitro* sindirim sonrasında, sodyum kazeinat ile hazırlanan nanoemülsiyon ile homojenize edilen domates posasının toplam fenolik madde miktarı, toplam antioksidan kapasitesi ve yüzde  $\beta$ -karoten biyoerişilebilirliği diğer emülgatörlere kıyasla en yüksek değerde bulunmuştur. Sonuç olarak, nanoemülsiyon uygulaması domates posasındaki  $\beta$ -karotenin biyoerişilebilirliğini arttırmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** beta karoten, Domates posası, Nanoemülsiyon, *In vitro* gastrointestinal sindirim, Toplam antioksidan kapasite.

## Effect of Nanoemulsions Formed Using Different Emulsifiers on the Bioaccessibility of $\beta$ -Carotene in Tomato Pomace

### Abstract

The tomato pulp contains a well-known beta carotene compound with positive health effects. However, the bioaccessibility of beta carotene is low due to the lipophilic structure and the poor water solubility. The aim of this study was to evaluate the effect of different emulsifiers on beta carotene from tomato pomace bioaccessibility using an *in vitro* gastrointestinal digestion model. The mean particle diameter of the particles in the nanoemulsions increased after digestion (273 to 351) compared to the values prior to digestion (150 to 185 nm). After *in vitro* digestion, nanoemulsions caused increases in total phenolic content and total antioxidant capacity values in pomace with nanoemulsion, compared to undigested samples pomace (without nanoemulsion) ( $p<0.05$ ). The sequence of the bioaccessibility of beta carotene followed the order of sodium caseinate (93%) > Tween 20 (92%) > Tween 80 (58%) > pomace+oil (11%) > pomace (9%). After *in vitro* digestion, the total phenolic content, total antioxidant capacity and percentage beta carotene bioaccessibility of tomato pomace homogenized with nanoemulsion prepared by sodium caseinate were found to be the highest value compared to other emulsifiers. As a result, nanoemulsions could increase the bioaccessibility of beta carotenes in tomato pomace.

**Keywords:** Beta carotene, Tomato pomace, Nanoemulsion, *In vitro* gastrointestinal digestion, Total antioxidant capacity.

\* Sorumlu Yazar: [mervetomas@gmail.com](mailto:mervetomas@gmail.com)

## 1. Giriş

Yapılan epidemiyolojik çalışmalar yüksek oranda meyve ve sebze tüketiminin kalp-damar hastalıkları, kanser ve diyabet gibi kronik hastalık risklerinin azalması ile ilişkili olduğunu ileri sürmüştür. Bu potansiyel faydalar özellikle polifenoller, karotenoidler gibi antioksidan özellik gösteren biyoaktif bileşiklerin varlığı ile ilişkilendirilmiştir (Mithul Aravind vd., 2021; Rodriguez-Amaya, 2021). Dünyada en çok tüketilen ve ticarete konu olan tarım ürünlerinin başında gelen domates (*Solanum lycopersicum*), insan beslenmesi için büyük öneme sahip olup dünyada birçok ülkede yetiştirilmektedir. Ülkemiz ise uygun iklim koşulları nedeniyle domates üretimi yapan önemli ülkelerden birini temsil etmektedir (Capanoglu vd., 2008). Domates tüm dünyada ve ülkemizde taze olarak tüketilebildiği gibi, son yıllardaki gıda teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak salça, sos, domates suyu, püre, ketçap, doğranmış ve kurutulmuş olarak da yaygın bir şekilde tüketilmektedir (Tomas vd., 2017). Domatesin endüstriyel olarak işlenmesiyle büyük miktarlarda kabuk ve çekirdekten oluşan yaklaşık olarak ağırlığının %3-5'i kadar posa şeklinde domates atıkları açığa çıkmaktadır (Zuorro vd., 2011). Dünya domates işleme konseyinin verilerine göre yıllık yaklaşık olarak 130 milyon ton domatesin proses edildiği ve bu proses sonucunda yaklaşık 8 milyon ton domates posası açığa çıktığı rapor edilmiştir. Bu elde edilen posa, hem çevresel hem de ekonomik açıdan sorun teşkil etmektedir. Posanın içerisinde bulunan biyoaktif bileşiklerin değerlendirilmesi ile önemli antioksidan kaynakları sağlanabileceği de vurgulanmaktadır (Z. Lu vd., 2019; Trombino vd., 2021). Diğer taraftan, domates posasının içerisinde yer alan  $\beta$ -karoten bileşiğinin bağışıklık sistemini güçlendirmesi, kalp-damar hastalıklarını önlemesi, kanser riskini azaltması gibi sağlık üzerine birçok faydası rapor edilmiştir (Gul vd., 2015). Fakat,  $\beta$ -karoten gibi biyoaktif bileşiklerin potansiyel biyoaktivitelerini göstermeleri sindirim sonunda ulaşılabilir olmalarına bağlıdır. Bu bileşiklerin hidrofobik yapıda olmaları, sudaki çözünürlüklerinin düşük olması, gastrointestinal sistemde düşük kimyasal stabilite göstermeleri, gıda matrisinden kolaylıkla açığa çıkamamaları, ısı, ışık, sıcaklık gibi faktörler nedeni ile biyoerişilebilirlikleri ve biyoyararlılıkları düşüktür (Priyadarshani, 2017). Bu nedenlerle, bu bileşiklerin potansiyel sağlık etkilerinden yeterince yararlanılamamaktadır. Bu bileşiklerin aktiviteyi ortaya çıkarabilmeleri için biyoerişilebilirliklerini arttıracak yöntemlerin geliştirilmesi önem taşımaktadır. Son yıllarda ise bu kapsamda ele alınan en yeni yaklaşımlardan birisi hidrofobik yapıdaki karotenoid bileşiklerinin nanoemülsiyon içeren formülasyonlarla tasarlanmasıdır (Dima vd., 2020; McClements, 2018). Nanoemülsiyonların bileşimi karotenoidlerin biyoerişilebilirliğini farklı şekillerde etkilemektedir. Literatürde yapılan araştırmalarda, yağ olarak mısır yağı ve emülgatör olarak tween 20, tween 80 ve sodyum kazeinat kullanılarak karotenlerin biyoerişilebilirliğinde olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Yukarıda sunulan bilgiler dikkate alınarak bu çalışmanın amacı, sodyum kazeinat, tween 20 ve tween 80 emülgatörleri ve mısır yağı ile nanoemülsiyonlar oluşturmak, bu emülsiyonlar ile domates posasını homojenize ederek, domates posasındaki  $\beta$ -karotenin biyoerişilebilirliğinin *in vitro* gastrointestinal sindirim modeli kullanılarak değerlendirilmesidir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Materyal

Domates posaları, endüstriyel bir domates işleme fabrikasından üretim sonucu temin edilmiştir ve dondurarak kurutma tekniği ile -35 C'de 36 saat kurutulmuş toz haline getirilmiştir. Su içinde yağ emülsiyonları için yağ çeşidi olarak mısır yağı (%8 w/w), emülgatör (%1 w/w) olarak sodyum kazeinat, Tween 20, Tween 80, basınç olarak 20000 psi ve mikrofluidizasyondan geçiş sayısı 5 geçiş olarak emülsiyonlar oluşturulmuştur. Hazırlanan posa örnekleri ile hazırlanan emülsiyonlar kütlece eşit miktarda 2 dakika ev tipi mikserde karıştırılarak homojen hale getirilmiştir.

### 2.2 Emülsiyonların Karakterizasyonu

Emülsiyondaki partiküllerin kararlılıklarının belirlenmesi amacıyla zeta potansiyelleri ve partikül boyutları ölçülmüştür. Parçacık boyutları Malvern Mastersizer 3000 cihazı ile ölçülmüştür ve parçacık boyutu yüzey alanı bazlı ortalama çap olarak (D[3,2]) olarak verilmiştir. Emülsiyonların yüzey yükü Malvern Nano-ZS cihazı ile ölçülmüştür. Örnekler belirli konsantrasyonlarda 10 mM'lık fosfat tampon ile seyreltilerek ölçüm yapılmıştır (Qian vd., 2012b).

### 2.3 Ekstraksiyon

Sindirilmemiş örneklerin, toplam fenolik madde ve toplam antioksidan kapasitesi analizleri için tüm örneklerden 2 g numune tartılarak, üzerine 5 mL %0.1 formik asit içeren %75 metanol çözeltisi ile muamele edilmiştir. Daha sonra örnekler ultrasonik banyoda 15 dk. sonike edilmiş ve 4 °C'de, 2700 x g devirde 10 dk. süreyle santrifüjlenerek üst faz toplanmıştır (Capanoglu vd., 2008). Hazırlanan ekstraktlar analizlerden önce -20°C'de muhafaza edilmiştir.

### 2.4 *In Vitro* Gastrointestinal Sindirim

Biyoerişilebilirliğinin tespiti için ağız, mide ve bağırsak sindirimini simüle eden INFOGEST metodu uygulanmıştır (Minekus vd., 2014). Ağız, mide ve bağırsak elektrolit solüsyonları metoda göre hazırlanmıştır. Ağız sindirimi için her bir örnek ağız elektrolit solüsyonu,  $\alpha$ -amilaz enzimi (1500 U/mL), CaCl<sub>2</sub> ve distile su ile karıştırılıp, pH 7'ye ayarlanarak çalkalayıcı su banyosunda 37 °C'de 2 dk. boyunca inkübe edilmiştir. Hemen ardından mide sindirimi için ağız sindirimi sonucu elde edilen karışım mide elektrolit solüsyonu, pepsin enzimi (25,000 U/mL), ve CaCl<sub>2</sub> ile karıştırılmış ve 1 M'lık HCl ile pH 3'e ayarlanarak çalkalayıcı su banyosunda 37 °C'de 2 saat boyunca inkübe edilmiştir. Bağırsak sindirimi için, mide sindiriminden elde edilen karışım bağırsak elektrolit solüsyonu, pankreatin (800 U/mL), pankreatik lipaz (2000 U/mL), CaCl<sub>2</sub> ile karıştırılmış ve 1 M NaOH ile pH 7'ye ayarlanarak çalkalayıcı su banyosunda 37 °C'de 2 saat boyunca inkübe edilmiştir. Son basamak olan, bağırsak sindirimini hemen ardından her bir numunedan analizler için örnek alınmıştır.

### 2.5 Spektrofotometrik Analizler

Toplam fenolik madde miktarı ve toplam antioksidan kapasite ölçümleri spektrofotometre ile yapılmıştır. Toplam fenolik madde miktarı Singleton vd. (1965) metoduna göre yapılmıştır. 725 nm'de absorbans ölçülmüştür ve mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/100 g olarak ifade edilmiştir. Toplam antioksidan kapasitesi iki farklı yöntem (bakır (II) iyonu indirgenme antioksidan kapasitesi (CUPRAC), 2,2-difenil-1-

pikrilhidrazil (DPPH) ve 2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit diamonyum tuzu (ABTS) ile analizi yapılmıştır. CUPRAC yöntemi Apak vd. (2004) ve DPPH yöntemi Kumaran ve Karunakaran, (2006) metotlarına göre ölçümleri yapılmıştır. Tüm toplam antioksidan kapasite sonuçları mg Trolox® eşdeğeri (TE)/100 g olarak ifade edilmiştir.

## 2.6 $\beta$ -karoten ekstraksiyonu ve HPLC ile analizi

Karoten ekstraksiyonu için örneklerden 1 g tartılarak 1 mL hekzan/aseton/etanol (50:25:25 v/v/v) çözeltisi ile muamele edilmiştir. Daha sonra 4 °C'de, 4000 rpm devirde 10 dk. süreyle santrifüjlenerek (Himac CR22N, Hitachi Koki, Japonya) üst faz toplanmıştır. Bu faz azot gazında uçurulduktan sonra 2 mL THF:metanol (50:50 v/v) eklenerek vorteksle iyice karıştırılarak dipte kalan kalıntı çözündürülmüştür. 0.45  $\mu$ m PTFE filtreden geçirilerek viallere konulmuştur.  $\beta$ -karoten miktarı HPLC-UV kullanılarak daha önce literatürde tarif edilen şekilde belirlenmiştir (Olives Barba vd., 2006). Kolon olarak C8 kolonu (5  $\mu$ m, 4.6  $\times$  250 mm), mobil faz olarak metanol/asetonitril (90:10 v/v) kullanılmıştır. 475 nm'de spektral ölçüm için 1 mL/dk. bir akış hızı ve 10  $\mu$ L enjeksiyon hacmi kullanılmıştır.

## 2.7 İstatistiksel Analiz

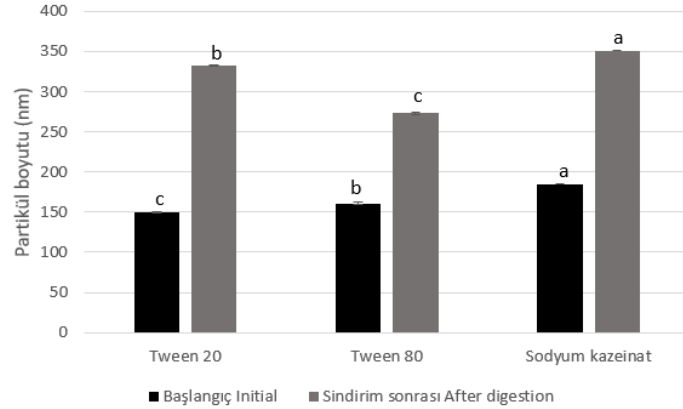
Analizler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar ortalama  $\pm$  standart sapma şeklinde ifade edilmiştir. Veriler SPSS yazılımı kullanılarak tek yönlü ANOVA'ya tabii tutulmuş ve numuneler arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Tukey testi kullanılmıştır ( $p < 0,05$ ).

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Partikül boyutu ve zeta potansiyel

Emülsiyonların karakterizasyonu için hem sindirilmemiş hem de sindirime uğramış örneklerin parçacık boyutu ve zeta potansiyel ölçümleri yapılmıştır. Partikül boyutu Şekil 1'de, zeta potansiyel sonuçları da Şekil 2'de verilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda hazırlanan emülsiyonların nano boyutta olduğu tespit edilmiştir. Emülgatör olarak Tween 80'in kullanıldığı emülsiyonunun parçacık boyutu 150 nm, Tween 20'nin kullanıldığı emülsiyonda 161 nm ve sodyum kazeinatın kullanıldığı emülsiyonda 185 nm olarak ölçülmüştür. Küçük molekül içeren surfaktanlar nano boyutta emülsiyon oluşturmada proteinler gibi sıklıkla kullanılmakta olup parçacık boyutunu farklı etkilemektedir (Qian ve McClements, 2011). Sindirim sonrasında ise Tween 20, Tween 80 ve sodyum kazeinatın kullanıldığı emülsiyonlarda parçacık boyutu sırası ile 333 nm, 273 nm ve 351 nm olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde, yapılan bir başka çalışmada sindirim öncesinde emülgatör olarak Tween 20, sodyum kazeinat ve modifiye nişasta kullanılan örneklerde sırası ile 195, 205 and 180 nm ölçülürken, sindirim sonrasında partikül boyutlarında artış tespit edilmiştir (Yuan vd., 2019a). Sindirim sonrasındaki parçacık boyutunun değişmesi, genellikle numunelerdeki parçacıkların sindirim sonrasında önemli ölçüde değişmesinden kaynaklanmaktadır (Zou et al., 2015). Zeta potansiyeli başlangıç örneklerinde -2,7 ila -21,8 mV, *in vitro* sindirim sonrası 2,8 ila -17,3 mV aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Sindirilmemiş örneklerde, sodyum kazeinat en yüksek negatif yüke sahip emülgatördür. Yapılan bir çalışmada da sodyum kazeinat kullanılan örneğin zeta potansiyeli -52,1 mV iken, Tween 20 kullanılan örneğin zeta potansiyeli -25,1 mV bulunmuştur (W. Lu vd., 2017). Negatif potansiyel yükün artması veya azalması *in vitro* sindirim koşulları, oluşturulan

emülgatör türlerine göre değişim göstermektedir (Gasa-Falcon vd., 2019; McClements, 2018; Yuan vd., 2019a).

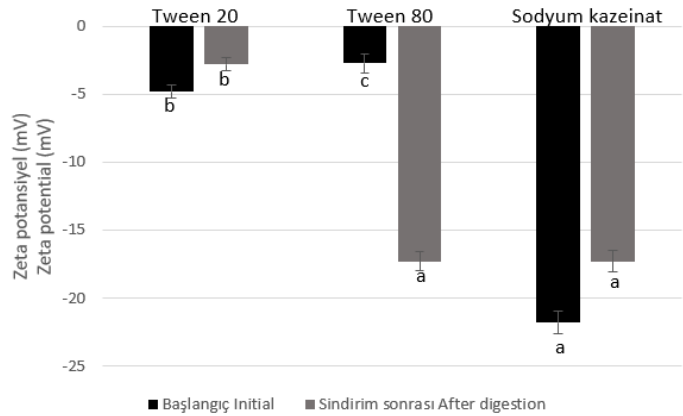


Şekil 1. *In vitro* gastrointestinal sindirim sırasında partikül boyutunda (nm) meydana gelen değişimler

Başlangıç ve sindirim sonrasına ait sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları göstermektedir ( $p < 0,05$ ).

Figure 1. Changes in mean particle diameters (nm) during *in vitro* gastrointestinal digestion

Different letters above bars represent statistically significant differences for each fraction, individually ( $p < 0.05$ )



Şekil 2. *In vitro* gastrointestinal sindirim sırasında zeta potansiyelde (mV) meydana gelen değişimler

Başlangıç ve sindirim sonrasına ait sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları göstermektedir ( $p < 0,05$ ).

Figure 2. Changes in mean zeta potential (mV) during *in vitro* gastrointestinal digestion

Different letters above bars represent statistically significant differences for each fraction, individually ( $p < 0.05$ )

### 3.2 Toplam fenolik madde ve toplam antioksidan kapasite

Farklı emülgatörler kullanıldıkça örneklerdeki toplam fenolik madde içeriğinde ki değişimler Çizelge'de gösterilmiştir. Posanın toplam fenolik madde içeriği 364.8 mg GAE /100 g



olarak tespit edilmiştir. Emülsiyonlar ile homojenize edilen posa örneklerinin toplam fenolik madde içeriği 218,5 mg GAE /100 g – 434,7 mg GAE/100 g aralığında değiştiği görülmüştür. *In vitro* sindirimden sonra, tüm örneklerin toplam fenolik madde içeriğinde başlangıç örneklerine kıyasla arttığı tespit edilmiştir. *In vitro* sindirimden sonra, kontrol örneğimiz olan posaya kıyasla Tween 20 kullanılan örnekte 2,5 kat, Tween 80 kullanılan örnekte 2,6 kat ve sodyum kazeinatın kullanıldığı örnekte 3,2 kat artış tespit edilmiştir ( $p<0.05$ ). *In vitro* sindirim sonrasında toplam fenolik madde içeriği en yüksek olan örnek sodyum kazeinat ile hazırlanan örnek olmuştur. Benzer şekilde, yapılan bir çalışmada da karnosik asit fenolik bileşiği lesitin emülgatörü ve mısır yağı ile oluşturulan nanoemülsiyon ile muamelesi sonucunda karsonik asitin biyoerişilebilirliğinde karnosik asitin sadece yağ ile muamele edile kontrol örneğine kıyasla 2,8 kat artış olduğu bulunmuştur. Yapılan bir başka çalışmada, zeytinyağı kullanılarak farklı basınç (12,000 ve 20,000 psi), emülgatör ve geçiş sayısı ile oluşturulan emülsiyonların eklenmesiyle oluşturulan domates posası örneklerinde de sindirilmmeden önce toplam fenolik madde içeriği 254-698 mg GAE/100 g aralığında değişirken, sindirimden sonra 1558-1930 mg GAE/100 g olarak bulunmuştur (Nemli vd., 2021). Bu artışların nedenleri şu şekilde sıralanabilir: i) sindirimde kullanılan enzimlerin bağlı fenolikleri serbest hale getirmesi ile yeni fenolik bileşiklerin oluşması ii) polimerize olan fenolik bileşiklerin monomer hale gelmesi, iii) hidrofobik özellikte olan fenolik bileşiklerin nanaemülsiyon sayesinde çözünür duruma gelmesi (Bohn, 2014; Serra vd., 2010; Siraj vd., 2021; Zhou vd., 2021).

Toplam antioksidan kapasitesi CUPRAC ve DPPH olmak üzere iki farklı metot ile analizlenmiştir. CUPRAC metoduna göre, başlangıç örneklerinde toplam antioksidan kapasitesi posa örneğinde 907,5 mg TE/100 g olarak tespit edilmiş olup, emülsiyon eklenen tüm örnekler (1028,7 mg TE/100 g- 1798,1 mg TE/100 g) posaya kıyasla istatistiksel olarak önemli oranda daha fazla toplam antioksidan kapasitesine sahip oldukları bulunmuştur ( $p<0.05$ ) En yüksek toplam antioksidan kapasitesi değeri, Tween 80 ile hazırlanan örnekte (1798,1 mg TE/100 g) tespit edilmiştir. Benzer şekilde başlangıç örneklerinde DPPH metoduna göre yapılan toplam antioksidan kapasite ölçümlerinde de emülsiyon eklenen örnekler (1466,3 mg TE/100 g -1485,9 mg TE/100 g) posaya kıyasla istatistiksel olarak daha fazla aktivite göstermişlerdir ( $p<0.05$ ). *In vitro* sindirim sonrasında posa örneğinin toplam antioksidan kapasitesi CUPRAC yöntemine göre 1007,7 mg TE/100 g, DPPH yöntemine göre 505,5 mg TE/100 g olarak bulunmuştur. Emülsiyonlu örneklerin posaya kıyasla *in vitro* sindirimden sonra CUPRAC metoduna göre 3,1-3,8 kat aralığında, DPPH metoduna göre de 1,6-1,8 kat aralığında toplam antioksidan kapasitesinde artış gözlemlenmiştir ( $p<0.05$ ). Her iki yöntemde göre de toplam antioksidan kapasitesi sindirimden sonra en yüksek bulunan örnek sodyum kazeinat ile hazırlanan örnek olmuştur. Benzer şekilde, Silva ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, kurkuminli emülsiyon örneğinin emülsiyonsuz örneğe kıyasla 9 kat daha fazla antioksidan aktivite gösterdiğini rapor etmişlerdir. Hem sindirilmemiş hem de sindirilmiş örneklerde sodyum kazeinat emülgatörünün partikül boyutu Tween 20 ve Tween 80'e kıyasla daha küçüktür ( $p<0.05$ ). Yapılan bir çalışmada da antioksidan aktivitenin partikül boyutu küçüldükçe daha fazla arttığını tespit etmiştir. Partikül boyutu 308 nm olan nanoemülsiyon ile muamele edilen likopen ile zenginleştirilmiş domates ekstraktının antioksidan aktivitesi 317 µmol TEAC iken partikül boyutu 184 nm olan olan emülsiyonlu

örneğin ki ise 261 µmol TEAC'dır (Ha vd., 2015). Diğer taraftan, mevcut antioksidan testlerinin her birinin birçok avantaj ve dezavantajı vardır. Aynı prensibe sahip metotlar bile birbirinden farklı sonuçlar gösterebilmektedirler (Arnao, 2000).

Tablo. *In vitro* gastrointestinal sindirim sırasında toplam fenolik madde ve toplam antioksidan kapasitede meydana gelen değişimler

Table. Changes in total phenolic content, and total antioxidant capacity during *in vitro* gastrointestinal digestion

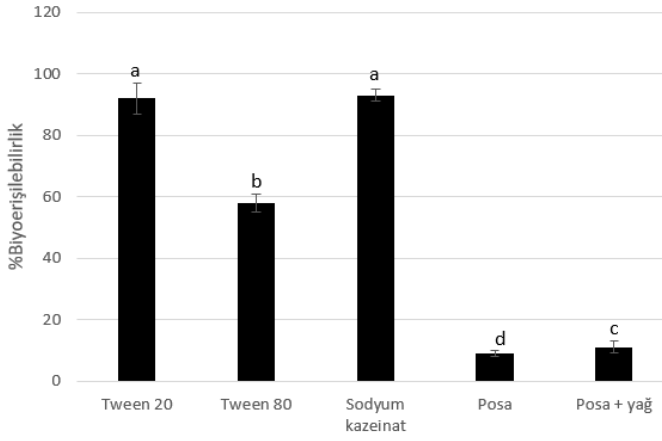
	Başlangıç Initial	Sindirim sonrası After digestion
Toplam fenolik madde (mg GAE/100g) Total phenolic content (mgGAE/100g)		
Tween 20	207,5 ± 9,8 <sup>d</sup>	1992,7 ± 10,2 <sup>c</sup>
Tween 80	434,7 ± 3,9 <sup>a</sup>	2025,8 ± 7,8 <sup>b</sup>
Sodyum kazeinat	218,5 ± 1,6 <sup>c</sup>	2524,2 ± 9,6 <sup>a</sup>
Posa	364,8 ± 11,4 <sup>b</sup>	785 ± 10,4 <sup>d</sup>
Posa+yağ	330,7 ± 12,4 <sup>b</sup>	784,1 ± 2,0 <sup>d</sup>
Toplam antioksidan kapasite (CUPRAC) (mgTE/100g) Total antioxidant capacity (mgTE/100g)		
Tween 20	1028,7 ± 9,7 <sup>c</sup>	3423,7 ± 58,6 <sup>b</sup>
Tween 80	1798,1 ± 2,9 <sup>a</sup>	3163,1 ± 73,7 <sup>c</sup>
Sodyum kazeinat	1113,5 ± 16,4 <sup>b</sup>	3814,6 ± 72,2 <sup>a</sup>
Posa	907,5 ± 7,8 <sup>d</sup>	1007,7 ± 23,9 <sup>d</sup>
Posa+yağ	820 ± 40,0 <sup>d</sup>	904,5 ± 24,7 <sup>d</sup>
Toplam antioksidan kapasite (DPPH) (mgTE/100g) Total antioxidant capacity (mgTE/100g)		
Tween 20	1479,7 ± 10,1 <sup>a</sup>	796,7 ± 38,9 <sup>c</sup>
Tween 80	1485,9 ± 10,0 <sup>a</sup>	830,8 ± 3,1 <sup>b</sup>
Sodyum kazeinat	1466,3 ± 18,9 <sup>a</sup>	902,2 ± 14,0 <sup>a</sup>
Posa	364 ± 10,7 <sup>b</sup>	505,5 ± 8,4 <sup>d</sup>
Posa+yağ	344,6 ± 4,1 <sup>b</sup>	525,7 ± 10,4 <sup>d</sup>

Bu tabloda gösterilen veriler 3 tekrarlı olarak temin edilen numunelerde yapılan ölçümlerin ortalama ± standart sapma değerleridir. Sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları göstermektedir ( $P < 0.05$ ).

Data presented in this table consist of average values ± standard deviation of 3 batches. Different letters in the rows represent statistically significant differences ( $P < 0.05$ ).

### 3.3 β-karoten biyoerişilebilirliği

Karotenoidlerin biyoyararlılığını karotenoidin çeşidi, moleküler bağlar, tüketilen karotenoid miktarı, gıda matriksi, genetik faktörler, biyodönüşümler ve matriks içerisindeki etkileşimler etkilemektedir (West ve Castenmiller, 1998). Diğer taraftan, karotenlerin suda çözünürlüklerinin düşük olması nedeni ile biyoyararlanımları azdır. Son yıllarda, bu tip bileşiklerin biyoerişilebilirlikleri nanoemülsiyonlar ile tasarlanarak arttığı rapor edilmiştir. Ayrıca, nanoemülsiyonu oluştururken kullanılan yağ, emülgatör, homojenizasyon koşulları gibi faktörler de karotenlerin biyoerişilebilirliğini önemli bir şekilde etkilemektedir. Yapılan araştırmalar, uzun zincirli yağ asitlerinin lipofilik yapıdaki biyoaktif bileşenlerin misel formunda daha kolay çözünebildiğini ve biyoerişilebilirliklerinin daha fazla olduğunu rapor etmişlerdir (McClements, 2017; Priyadarshani, 2017). Lipoflik biyoaktif bileşiklerden olan β-karotenin yüzde biyoerişilebilirlik değerleri Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. *In vitro* gastrointestinal sindirim sırasında  $\beta$ -karotenin biyoerişilebilirliği

Sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları göstermektedir ( $p < 0,05$ ).

Figure 3. Bioaccessibility of beta carotenes during *in vitro* gastrointestinal digestion

Different letters above bars represent statistically significant differences for each fraction, individually ( $p < 0.05$ )

Posa örneğindeki  $\beta$ -karotenin biyoerişilebilirliği %9, posaya yağ eklenmesi ile %11 olarak tespit edilmiştir. Yağ eklenmesi bu bileşiklerin çözünürlüğünün artması ile karotenlerin biyoerişilebilirliklerinin arttığı literatürdeki çalışmalarda ortaya konmuştur (Tomaş vd., 2019). Emülsiyon eklenen örneklerde ise  $\beta$ -karotenin biyoerişilebilirliği hem posaya kıyasla hem de posaya yağ eklenen örneğe kıyasla istatistiksel olarak önemli ölçüde yüksek bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Emülsiyonlu örneklerde  $\beta$ -karotenin biyoerişilebilirliği en yüksekten azalan sıraya göre Sodyum kazeinat (%93) > Tween 20 (%92) > Tween 80 (%58) olarak sıralanmaktadır. Benzer şekilde yapılan bir çalışmada, çözünmüş  $\beta$ -karoten, likopen ve lutein içerisine %0, %10, %25 ve %50 oranlarında sodyum kazeinat, peynir altı suyu, soya proteini ve jelatin proteinlerini ekleyerek *in vitro* sindirimlerinden sonra ki % biyoerişilebilirlik değerlerini incelemişlerdir. Proteinlerin eklenmesi  $\beta$ -karotenin biyoerişilebilirliğini %189 a kadar arttırdığı, luteininkini %50 oranında azalttığı ve likopende ise %135 oranında arttırdığını bulmuşlardır. En yüksek artışıda sodyum kazeinatın kullanıldığı örneklerde elde edildiği rapor edilmiştir. Araştırmacılar bu sonuçlara dayanarak, eklenen protein çeşidinin, konsantrasyonunun ve karotenin çeşidine bağlı olarak biyoerişilebilirliğin değiştiğini rapor etmişlerdir (Iddir vd., 2020). Bir başka çalışmada,  $\beta$ -karotenin hücresele emilimi kullanılan farklı emülsifer çeşidine göre en yüksekten azalan sıraya göre sodyum kazeinat (0,180  $\mu\text{g}/\text{mg}$  protein) > Tween 80 (0,146  $\mu\text{g}/\text{mg}$  protein) > peynir altı proteini (0,130  $\mu\text{g}/\text{mg}$  protein) olarak bulunmuştur (W. Lu vd., 2017). Yuan ve arkadaşlarının da yapmış oldukları çalışmada en yüksek  $\beta$ -karoten biyoerişilebilirlik değeri sodyum kazeinatın (%28,8), daha sonra Tween 20 (%13,8) ve en düşük modifiye nişastanın (%8,1) kullanıldığı örnekte tespit edilmiştir (Yuan vd., 2019b). Literatürde yapılan araştırmalarda sodyum kazeinat ile hazırlanan emülsiyonların  $\beta$ -karotenin biyoerişilebilirliğini daha iyi bir şekilde arttırmasının nedeni olarak lipaz enziminin kolay bir şekilde yağ fazına ulaşılabilirliği ile yağların sindirilerek monoaçilgliserollerini, serbest yağ sitlerini oluşturması ile birlikte

sindirim ortamındaki safra tuzları, kolesterol ve fosfolipitler ile birlikte misellerin hızlı bir şekilde oluşup  $\beta$ -karotenin çözünür forma dönüşmesi olarak rapor edilmiştir (W. Lu vd., 2017; Priyadarshani, 2017; Yuan vd., 2019b). Ayrıca,  $\beta$ -karotenin biyoerişilebilirliğini kullanılan nanoemülsiyonun içerisinde ki yağ fazının çeşidi de etkilemektedir. Örneğin, Qian ve arkadaşları (2012a) yaptıkları araştırmada mısır yağı ile oluşturulan nanoemülsiyonların, migilicol ile oluşturulan nanoemülsiyonlara kıyasla  $\beta$ -karotenin biyoerişilebilirliğini daha fazla arttırdığını rapor etmişlerdir.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada Tween 20, Tween 80 ve sodyum kazeinat olmak üzere üç farklı emülgatör, mısır yağı ile oluşturulan nanoemülsiyonların domates posası ile birlikte dizayn edilmesi ile domates posası içerisindeki  $\beta$ -karotenin *in vitro* gastrointestinal sindirim modeli kullanılarak biyoerişilebilirliği incelenmiştir. Sonuç olarak, üç farklı emülgatör kullanılarak hazırlanan nanoemülsiyonlar domates posasının toplam fenolik madde içeriğini, toplam antioksidan kapasitesini ve  $\beta$ -karotenin biyoerişilebilirliğini arttırmıştır. Bu analizlerdeki en yüksek artış sodyum kazeinatın kullanıldığı nanoemülsiyonlu örneklerde tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara dayanarak, nanoemülsiyon uygulaması ile domates posası fonksiyonel ürün tasarımında bir ingrediyen olarak değerlendirilerek, domates posası içerisinde bulunan ve sağlık üzerine olumlu etkileri ile bilinen  $\beta$ -karoten ve antioksidan gibi bileşiklerin potansiyel faydalarından daha fazla yararlanılabilecektir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 3501 Programı, 1180377 nolu proje kapsamında desteklenerek yapılmıştır. Bu projenin yapılmasına olanak sağladığı için TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

## 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.
- Arnao, M. B. 2000, Kasım 1. "Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: A practical case". Trends in Food Science and Technology. Elsevier Ltd.
- Bohn, T. 2014. "Dietary factors affecting polyphenol bioavailability". Nutrition Reviews, 72(7), 429–452.
- Capanoglu, E., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., Hall, R., de Vos, R. 2008. "Changes in Antioxidant and Metabolite Profiles during Production of Tomato Paste". Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(3), 964–973.
- Dima, C., Assadpour, E., Dima, S., Jafari, S. M. 2020. "Bioactive-loaded nanocarriers for functional foods: from designing to bioavailability". Current Opinion in Food Science, 33, 21–29.
- Gasa-Falcon, A., Odriozola-Serrano, I., Oms-Oliu, G., Martín-Belloso, O. 2019. "Impact of emulsifier nature and concentration on the stability of  $\beta$ -carotene enriched nanoemulsions during: *In vitro* digestion". Food and

- Function, 10(2), 713–722.
- Gul, K., Tak, A., Singh, A. K., Singh, P., Yousuf, B., Wani, A. A. 2015. "Chemistry, encapsulation, and health benefits of  $\beta$ -carotene - A review". *Cogent Food and Agriculture*, 1(1).
- Ha, T. V. A., Kim, S., Choi, Y., Kwak, H. S., Lee, S. J., Wen, J., ... Ko, S. 2015. "Antioxidant activity and bioaccessibility of size-different nanoemulsions for lycopene-enriched tomato extract". *Food Chemistry*, 178, 115–121.
- Iddir, M., Dingo, G., Porras Yaruro, J. F., Hammaz, F., Borel, P., Schlee, T., ... Bohn, T. 2020. "Influence of soy and whey protein, gelatin and sodium caseinate on carotenoid bioaccessibility". *Food and Function*, 11(6), 5446–5459.
- Kumaran, A., Joel Karunakaran, R. 2006. "Antioxidant and free radical scavenging activity of an aqueous extract of *Coleus aromaticus*". *Food Chemistry*, 97(1), 109–114.
- Lu, W., Kelly, A. L., Miao, S. 2017. "Bioaccessibility and cellular uptake of  $\beta$ -carotene encapsulated in model O/W emulsions: Influence of initial droplet size and emulsifiers". *Nanomaterials*, 7(9).
- Lu, Z., Wang, J., Gao, R., Ye, F., Zhao, G. 2019, Nisan 1. "Sustainable valorisation of tomato pomace: A comprehensive review". *Trends in Food Science and Technology*. Elsevier Ltd.
- McClements, D. J. 2017. "Recent progress in hydrogel delivery systems for improving nutraceutical bioavailability". *Food Hydrocolloids*, 68, 238–245.
- McClements, D. J. 2018. "Enhanced delivery of lipophilic bioactives using emulsions: A review of major factors affecting vitamin, nutraceutical, and lipid bioaccessibility". *Food and Function*, 9(1), 22–41.
- Minckus, M., Alvinger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., ... Brodtkorb, A. 2014. "A standardised static in vitro digestion method suitable for food – an international consensus". *Food & Function*, 5(6), 1113–1124.
- Mithul Aravind, S., Wichienchot, S., Tsao, R., Ramakrishnan, S., Chakkaravarthi, S. 2021. "Role of dietary polyphenols on gut microbiota, their metabolites and health benefits". *Food Research International*, 142, 110189.
- Nemli, E., Ozakdogan, S., Tomas, M., McClements, D. J., Capanoglu, E. 2021. "Increasing the Bioaccessibility of Antioxidants in Tomato Pomace Using Excipient Emulsions". *Food Biophysics*, 16(3), 355–364.
- Olives Barba, A. I., Cámara Hurtado, M., Sánchez Mata, M. C., Fernández Ruiz, V., López Sáenz De Tejada, M. 2006. "Application of a UV-vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and  $\beta$ -carotene in vegetables". *Food Chemistry*, 95(2), 328–336.
- Priyadarshani, A. M. B. 2017. "A review on factors influencing bioaccessibility and bioefficacy of carotenoids". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(8), 1710–1717.
- Qian, C., Decker, E. A., Xiao, H., McClements, D. J. 2012a. "Nanoemulsion delivery systems: Influence of carrier oil on  $\beta$ -carotene bioaccessibility". *Food Chemistry*, 135(3), 1440–1447.
- Qian, C., Decker, E. A., Xiao, H., McClements, D. J. 2012b. "Physical and chemical stability of  $\beta$ -carotene-enriched nanoemulsions: Influence of pH, ionic strength, temperature, and emulsifier type". *Food Chemistry*, 132(3), 1221–1229.
- Qian, C., & McClements, D. J. (2011). Formation of nanoemulsions stabilized by model food-grade emulsifiers using high-pressure homogenization: Factors affecting particle size. *Food hydrocolloids*, 25(5), 1000-1008.
- Rodriguez-Amaya, D. B. 2021. "Current knowledge on the health benefits of carotenoids: Focus on the scientific evidence". *Global Perspectives on Astaxanthin*, 693–717.
- Serra, A., Macià, A., Romero, M.-P., Valls, J., Bladé, C., Arola, L., Motilva, M.-J. 2010. "Bioavailability of procyanidin dimers and trimers and matrix food effects in *in vitro* and *in vivo* models". *British Journal of Nutrition*, 103(7), 944–952.
- Silva, H. D., Beldíková, E., Poejo, J., Abrunhosa, L., Serra, A. T., Duarte, C. M. M., ... Vicente, A. A. 2019. "Evaluating the effect of chitosan layer on bioaccessibility and cellular uptake of curcumin nanoemulsions". *Journal of Food Engineering*, 243(September 2018), 89–100.
- Singleton, V. L., Rossi, J. A. 1965. "Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents". *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144 LP – 158. Tarihinde adresinden erişildi <http://www.ajevonline.org/content/16/3/144.abstract>
- Siraj, A., Naqash, F., Shah, M. A., Fayaz, S., Majid, D., Dar, B. N. 2021. "Nanoemulsions: formation, stability and an account of dietary polyphenol encapsulation". *International Journal of Food Science and Technology*, 4193–4205.
- Tomas, M., Beekwilder, J., Hall, R. D., Sagdic, O., Boyacioglu, D., Capanoglu, E. 2017. "Industrial processing versus home processing of tomato sauce: Effects on phenolics, flavonoids and *in vitro* bioaccessibility of antioxidants". *Food Chemistry*, 220, 51–58.
- Tomaş, M., Sağiç, O., Çatalkaya, G., Kahveci, D., Çapanoğlu, E. 2019. "Effects of cooking and extra virgin olive oil addition on bioaccessibility of carotenes in tomato sauce". *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 43(5), 478–484.
- Trombino, S., Cassano, R., Procopio, D., Di Gioia, M. L., Barone, E. 2021. "Valorization of Tomato Waste as a Source of Carotenoids". *Molecules*.
- West, C. E., Castenmiller, J. J. 1998. "Quantification of the "SLAMENGI" factors for carotenoid bioavailability and bioconversion". *International Journal for Vitamin and Nutrition Research. Internationale Zeitschrift Fur Vitamin-Und Ernährungsforschung. Journal International de Vitaminologie et de Nutrition*, 68(6), 371–377. Tarihinde adresinden erişildi <http://europepmc.org/abstract/MED/9857264>
- Yuan, X., Xiao, J., Liu, X., McClements, D. J., Cao, Y., Xiao, H. 2019a. "The gastrointestinal behavior of emulsifiers used to formulate excipient emulsions impact the bioavailability of  $\beta$ -carotene from spinach". *Food Chemistry*, 278(September 2018), 811–819.
- Yuan, X., Xiao, J., Liu, X., McClements, D. J., Cao, Y., Xiao, H. 2019b. "The gastrointestinal behavior of emulsifiers used to formulate excipient emulsions impact the bioavailability of  $\beta$ -carotene from spinach". *Food Chemistry*, 278, 811–819.
- Zhou, H., Zheng, B., McClements, D. J. 2021. "Encapsulation of lipophilic polyphenols in plant-based nanoemulsions: Impact of carrier oil on lipid digestion and curcumin, resveratrol and quercetin bioaccessibility". *Food and Function*, 12(8), 3420–3432.
- Zuorro, A., Fidaleo, M., Lavecchia, R. 2011. "Enzyme-assisted extraction of lycopene from tomato processing waste". *Enzyme and Microbial Technology*, 49(6–7), 567–573.





# Machine Learning Detection of Phishing Websites Using Website Data

Murathan Ok<sup>1\*</sup>, İlker Kara<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Hacettepe Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2584-0199), murathanok@gmail.com

<sup>2</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Eldivan Tıbbi Hizmetler ve Sağlık Meslek Yüksek Okulu, Çankırı, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3700-4825), [karaikab@gmail.com](mailto:karaikab@gmail.com)

(First received 11 Ekim 2021 and in final form 23 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008335)

**ATIF/REFERENCE:** Ok, M. & Kara, İ. (2021). Machine Learning Detection of Phishing Websites Using Website Data. *European Journal of Science and Technology*, (31), 182-187.

## Abstract

Attackers are designing fake websites to collect sensitive data such as credit card, email, social media account information of their victims. These attacks keep getting more sophisticated day by day. This leads to highly convincing website designs that can easily trick users and steal their information. In order to prevent this increasingly dangerous problem from spreading, systems with machine learning capabilities have been developed to predict if a web page or web site is created exclusively for phishing or not. In this study, using the determined 6 features of the selected sample website address 12.275. It is tried to determine whether this website address is prepared for phishing purposes or not by using a random forest algorithm. The selected data set in this study have been collected from open-source datas which is published on the official website of the Computer Emergency Response Team of Turkey. The data set was created by categorizing and labeling internet urls and domain names according to 6 determined features. Tags (Phishing=1, Suspect=0, Legitimate=-1) were determined using scripts and tabulation programs developed on python programming language. As a conclusion of the study, used method has shown 95 % success performance.

**Keywords:** Website Features, Phishing, Feature Extraction, Machine Learning.

## İnternet Sayfası Verileri Kullanarak Kimlik Avı Web Sitelerinin Makine Öğrenme Tekniğiyle Tespiti

### Öz

Saldırganlar kurbanlarının kredi kartı, e-posta, sosyal medya hesap bilgileri gibi hassas verileri ele geçirmek için sahte web siteleri tasarlamaktadırlar. Bu saldırılar son zamanlarda daha karmaşık hale gelmiş dikkatli kullanıcıları kolayca kandırabilen oldukça ikna edici tasarımlar geliştirmişlerdir. Giderek daha tehlikeli hale gelen bu soruna çözüm bulmak için yapılan çalışmalar sahte web sayfalarının verileri ile kimlik avı amacı ile hazırlanmış web sayfalarının makine öğrenmesi yöntemi kullanarak tahminini yapabilecek sistemler tasarlanmıştır. Bu çalışmada seçilen örnek web sitesi adresine ait belirlenmiş 6 özellik kullanılarak; bu web site adreslerinin kimlik avı amacı ile hazırlanıp hazırlanmadığı rastgele orman (random forest) algoritması kullanarak tespit edilmeye çalışılmaktadır. Çalışmada seçilen veri seti, Uluslararası Siber Olaylara Müdahale Merkezinin resmi web sitesinde yer alan açık kaynak verileri kullanılmıştır. Toplamda 12.275 adet web sitesi çalışma için değerlendirilmiştir. Veri seti, internet URL ve alan adlarının belirlenen 6 özelliğin kategorilendirilmesi ve etiketlenmesi ile oluşturulmuştur. Etiketler (Kimlik avı=1, Şüpheli=0, Meşru=-1) python dilinde geliştirilmiş betikler ve tablolama programlarından yararlanılarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda kullanılan yöntem 95% başarı performansı göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Web Sitesi Özellikleri, Kimlik Avı, Özellik Çıkarma, Makine Öğrenmesi.

\* Sorumlu Yazar: [murathanok@gmail.com](mailto:murathanok@gmail.com)



## 1. 1. Giriş

Kimlik avı saldırıları genel olarak kurbanların e-posta hesaplarına; ödül, kampanya, hediye gibi cezbedici ve/veya bir panik durumunu oluşturmayı amaçlayan sahte iletiler gönderilmesi ile gerçekleşir. Burada amaç kredi kartı ve kimlik bilgisi gibi hassas verilerin çalınmasıdır. Dolandırıcılar bu bilgileri farklı amaçlar için kullanabilir. İlk kimlik avı vakası 2004 yılında, "America Online" web sitesinin taklidini oluşturan Kaliforniyalı bir genç ile başlamıştır. Sahte bir web sitesi ile kullanıcılardan hassas bilgiler elde edinilebilmiş ve hesaplarından para çekmek için kredi kartı bilgilerine erişim sağlanabilmiştir (CNN, Phishing scams reel in your identity).

E-posta ve web sitesi ile yapılan kimlik avı faaliyetleri dışında, 'vishing' (sesli kimlik avı), 'smishing' (SMS kimlik avı) ve siber suçluların sürekli olarak geliştirdikleri diğer kimlik avı teknikleri de bulunmaktadır.

Kimlik avı saldırıları keşfedildiği günden bugüne benzer yöntemler kullanmakta ve kurbanları tuzağa düşürmeyi yüksek oranda başarabilmektedir. Uluslararası operasyonları ile kimlik avı saldırılarına karşı koruma ve farkındalık sağlamayı hedefleyen Keepnet firmasının (Keepnetlabs 2020 phishing statistics ) raporuna göre kullanıcıların %97'si hedefli bir kimlik avı e-postasını tanımlayamamaktadır. SANS Enstitüsü'ne göre, kurumsal ağlara yapılan tüm saldırıların %95'i hedefli kimlik avının sonucu meydana gelmektedir. Verizon firmasının 2020 Veri İhlali Araştırma Raporunda (Verizon 2020 Summary of Findings), yalnızca kimlik avı içeren saldırıların 2020 yılı içinde %32'lik bir artış gösterdiği ve bunun tüm veri ihlallerinin neredeyse üçte birine karşılık geldiği ifade edilmektedir.

Kimlik avı saldırılarının bu düzeyde başarılı olmasının nedenlerinden en önemlileri,

- Kişilere yeterli farkındalık eğitimi verilmemiş olması,
- Kullanılan sosyal mühendislik metotları ile kullanıcıların tuzağa düşmesini kolaylaşması,
- İnsan zaaflarına yönelik içerikler bulunması,
- E-posta güvenlik sistemlerinin kimlik avı amaçlı gönderileri yeterli seviyede tespit edememesi,
- Yaygınlaşan IoT cihazları ve bu cihazlarla toplanan verinin kontrolsüz ve yeterli seviyede güvenlik altına alınmadan saklanması, veri sahibini hedef haline getirilmesi,
- Saldırıların başarılı olması nedeni ile yaygınlaşarak devam etmesidir (Bhardwaj vd., 2020).

Kimlik avı saldırılarının sahip olduğu başarı yüzdesi nedeni ile bu saldırıları durdurmak, tespit etmek ve önlemek için çalışmalar hem akademik hem de sektörel düzeyde devam etmektedir. Kimlik avı saldırılarını önlemek için çok aşamalı doğrulama mekanizmaları kullanılmaktadır. Kişi erişim sağladığında bildiği, sahip olduğu ve kendisinde olan birimlerle yetkilendirilmektedir (Ometov vd., 2018). Bu üç unsur aynı anda sağlayamayan saldırgan başarısız olacaktır. Kimlik avı saldırılarının tespiti için kişi farkındalıklarını arttırmak ya da yazılım tabanlı tespit çözümleri kullanılmaktadır. Yazılım tabanlı çözümlerde makine öğrenmesi, istihbarat veri tabanları ve kara listeler yer almaktadır (Apandi vd., 2020).

Yapılan çalışmada, internet sayfalarının verileri ile kimlik avı amacı ile hazırlanmış sayfaların tahminini yapabilecek bir sistem

tasarlamak amaçlanmıştır. Sistem tahminini makine öğrenmesi kullanarak yapmaktadır. Geliştirme sürecinde kullanılacak makine öğrenme algoritması seçilirken, kullanılan veri setinin birçok makine öğrenme algoritması ile karşılaştırılması yapılmıştır. En yüksek doğruluk oranına sahip olduğu tespit edilen rasgele orman (random forest) algoritması tahmin için seçilmiştir. Makine öğrenmesi python dili ve spyder tümleşik geliştirme ortamında kodlanmıştır.

Çalışma 8 bölümden oluşmaktadır. 2. bölümde benzer çalışmalardan, 3. bölümde veri kümesinin tanımından, 4. bölümde veri ön işleme ve dönüşümünden, 5. bölümde seçilen algoritmadan, 6. bölümde sonuçlardan ve 7. bölümde gelecekte yapılacak çalışmalardan bahsedilmiştir.

## 2. Literatür Çalışması

Saldırı başarı oranının yüksek ve e-posta üzerinden dağıtıldığından ve kolay şekilde yayılım gösterebildiğinden kimlik avı saldırılarını önlemeye yönelik literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır.

Literatürde, bu çalışma ele alındığında problemin çözümü için farklı veri setleri ve makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Bu çalışmada (Al-Ahmedi vd. 2020) kimlik avı web sayfası tanımlama sorunu bir görüntü sınıflandırma görevi olarak ele alınmaktadır. İnternet sayfası ekran görüntülerinden kompakt görsel özellikleri çıkarılmakta ve rasgele ağaç algoritması ile sınıflandırılmaktadır. (Awasthi vd., 2021) çalışmalarında alan adı özellikleriyle kimlik avı web sitesi URL'lerini tespit etmeye odaklanıldığı tespit edilmiştir. Çalışmaların çoğunun (Hema vd., 2020) Naive Bayes, destek vektör, karar ağacı ve rasgele orman gibi tanıdık makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır. (Hossain vd., 2020) çalışmalarında internet sitesi arasında ayırım yapabilen özelliklerden oluşan veri kümelerine göre performans gösterecek şekilde rasgele orman makine öğrenmesi algoritması ile en iyi şekilde sonuç alınmıştır.

Chiew vd. (2019) Machine Learning Repository (UCI) verilerini kullanarak farklı makine öğrenme algoritmaları kullanarak kimlik avı web sayfası tespitini amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda Random Forest algoritmasının %94,6 doğruluk oranında başarı gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Benzer bir çalışmada Sahingoz vd. (2019); kimlik avı e-posta tespiti için 7 farklı sınıflandırma algoritması kullanarak 73.575 adet e-postası veri setini Random Forest algoritması kullanarak analiz etmiştir. Analizler sonucunda %97,98 doğruluk oranıyla kimlik avı yapan e-postaları tespit edebilmişlerdir.

Diğer bir çalışmada Kalaycı (2018), kimlik avı web sayfası tespiti için makine öğrenmesi yöntemleri kullanmıştır. Bu amaçla 1.353 örnekten oluşan bir veri setinde web sitesi adresine ait belirlenmiş 9 özellik kullanılmıştır. Çalışma sonucunda Rastgele Orman (RF) algoritmasının en yüksek başarı oranına ulaştığını vurgulamıştır. Biz de literatürdeki bu çalışmaları doğrultusunda web sitesi adresine ait belirlenmiş 6 özellik kullanılarak; bu web sitesi adresinin kimlik avı amacıyla hazırlanmış olup olmadığı öncelikle farklı algoritma çıktılarına göre karşılaştırılmıştır. Başarı oranı en yüksek olan Rastgele

Orman (RF) algoritması kullanarak da tespit çalışması yapılmıştır. Çalışma aşağıda listelenen 3 katkı sunmaktadır:

- Bu çalışma kimlik avı web sayfalarını farklı algoritmalarla karşılaştırılarak en yüksek başarımları sağlayacak algoritmayı tespit etmeye odaklanmıştır.
- Şüpheli web sitesi adresine ait belirlenmiş 6 özelliğin öncelikle tespiti sağlanarak incelenmiştir.
- Kimlik avı web sayfası tespiti için yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setini ticari bir kaygı duymadan yayınlanmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Veri Seti

Öğrenme ve test için kullanılan veri seti Uluslararası Siber Olaylara Müdahale Merkezinin resmi web sitesi ve açık kaynak verileri kullanarak temin edilmiştir. 12.275 adet web sitesi verisine ulaşılmıştır. Veri seti, internet URL ve alan adlarının belirlenen 6 özelliğinin kategorilendirilmesi ve etiketlenmesi ile oluşturulmuştur.

##### 3.1.1. IP Adres Kullanma

URL'deki alan adına alternatif olarak "http://88.18.221.19/phish.html" örneğindeki gibi bir IP adresi kullanılması, kişisel bilgilerin çalmaya çalıştığına dair bir göstergedir. Bazen, IP adresi aşağıdaki bağlantıda gösterildiği gibi onaltılık koda dönüştürülmüş de olabilir. "http://0x58.0xCC.0xCA.0x62/2/phish.html ". URL içeriğinde IP adresi kullanılmış ise sayfa kimlik avı kategorisinde sınıflandırılmıştır.

##### 3.1.2. Şüpheli Kısmı Gizlemek İçin Uzun URL Kullanımı

Kimlik avcıları, adres çubuğundaki şüpheli kısmı gizlemek için uzun URL'ler kullanabilmektedir. Örneğin: http://bimcelltr.com.br/3f/aze/ab51e2e319e51502f416dbe46b773a5e/? URL'nin uzunluğu 30 karakterden fazla veya buna eşitse, URL kimlik avı sayfası olarak sınıflandırılmıştır.

##### 3.1.3. Alan Adında “-” Sembolü ile Ön ya da Son Ek Varlığı

Kısa çizgi simgesi, meşru URL'lerde nadiren kullanılır. Kimlik avcıları, kullanıcıların meşru bir web sayfasıyla uğraştıklarını hissetmeleri için alan adına (-) ile ayrılmış ön ekler veya son ekler ekleme eğilimindedir. Örneğin: http://www.ödeme-vakifbank.com/. Bu tarz kullanımlara kimlik avı saldırılarında sıkça rastlanmaktadır.

##### 3.1.4. Alt Alan Adı ve Çoklu Alt Alan Adı

Alan adlarında ülke ve sektör tanımı için kullanılan uzantılar dışındaki nokta işareti bulunuyorsa, URL bir alt alana sahip demektir. Bir alan adına sahip URL'ler "Şüpheli" olarak sınıflandırılmıştır. Nokta sayısı ikiden büyükse, birden çok alt etki alanına sahip olacağından kimlik avı sayfası olarak sınıflandırılmıştır.

##### 3.1.5. Alan Adı Kayıt Süresi

Bir kimlik avı internet sitesinin kısa bir süre önce internette yayına başladığı gerçeğinden yola çıkarak, güvenilir alan adlarının düzenli olarak birkaç yıl önceden yayına alındığı tespit edilmiştir. Alan adı bir yıldan daha kısa sürede kayıt edilmiş ise kimlik avı olarak sınıflandırılmıştır.

#### 3.1.6. CPR Puanı

Bir web sayfasının internette hangi sırada ve ne kadar önemli olduğunu ölçülebilmektedir. Web sayfasının teknik yönlerinin arama motoru optimizasyonlarına göre daha yüksek sıralamalarda sonuç vermesi ve organik trafiğe ne kadar iyi ulaşılacağına ölçüsüdür. Kimlik avı amacı ile hazırlanmış internet sayfalarının "0,2" seviyesinde bir CPR değerine ulaşabileceğini görülmüştür. CPR puanı "0,2" olan internet sayfaları kimlik avı olarak sınıflandırılmıştır.

#### 3.1.7. Google İndeksi

Bir internet sitesi Google tarafından indekslendiğinde, arama sonuçlarında görüntülenir. Genellikle, kimlik avı web sayfalarına yalnızca kısa bir süre için erişilebilir olduğundan birçok kimlik avı amaçlı internet sayfası Google indexinde bulunmamaktadır. Google indexinde bulunmayan sayfalar kimlik avı olarak sınıflandırılmıştır.

### 4. Veri Dönüşümü ve Ön İşleme

Çalışmada kullanılan veri seti Uluslararası Siber Olaylara Müdahale Merkezinin resmî web sitesinde yer alan açık kaynak verileri kullanarak oluşturulmuştur. 23.09.2021 ve 19.08.2021 tarihleri arasında kayda geçmiş 39.441 zararlı bağlantı bilgisine ulaşılmıştır. Bu bilgilerden 20.614 kaydın kimlik avı kategorisinde olduğu saptanmış ve kayıtlar ayrıştırılmıştır. Veri seti için nitelik toplama aşamasında 20.614 kayıttan 8.707 tane kimlik avı verisinin tüm niteliklerine ulaşılabilmiştir. Ayrıca 3.567 adet kimlik avı olmayan web sayfasının verisi de veri setine eklenmiştir.

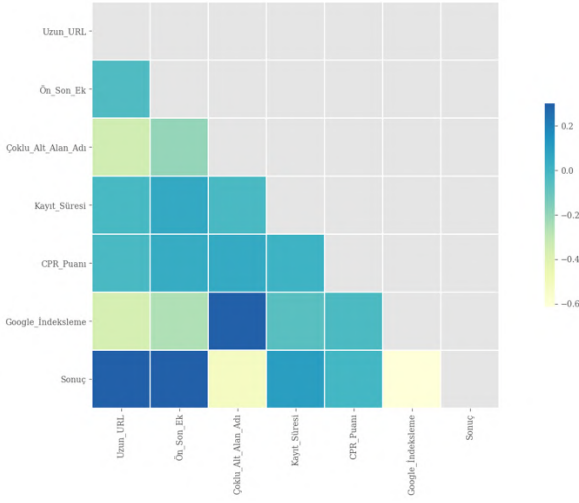
Veriler, kimlik avı kategorisinde değerlendirilen bir özellik ise "1", değil ise "-1" olarak nitelendirilmiştir. Veri tanımlarına göre kimlik avı şüphesi olan veriler "0" ile nitelendirilmiştir. Veri kümesinde makine öğrenmesi çalışmalarına başlamadan önce 12.275 adet girdi bulunmaktadır. Veri kümesi kimlik avı ve meşru siteler için yakın dağılımı bir olmasına dikkat edilmiştir. Dengeli bir veri seti üzerinde hazırlanmaya çalışılmıştır.

Tablo 1. Veri Dağılımı

Toplam Veri	Kimlik Avı Olan Veri	Kimlik Avı Olmayan Veri	Veri Oranı
12274	8707	3567	0,7093

Veri kümesi içerisinde eksik/kayıp (missing value) kontrollü yapılmıştır. Veri kümesi dâhil hiçbir tanımda eksik veri tespit edilmemiştir. Veri seti üzerinde eksik/kayıp veri çözümler stratejilerinden hiçbiri uygulanmamıştır.

Şekil 1. Örnek Korelasyon Tablosu



Veri algoritma öğrenmesinde ve kullanılmak üzere öğrenme ve test için ayrıştırılmıştır.

Tablo 2. Öğrenmesi Verisi Dağılımı

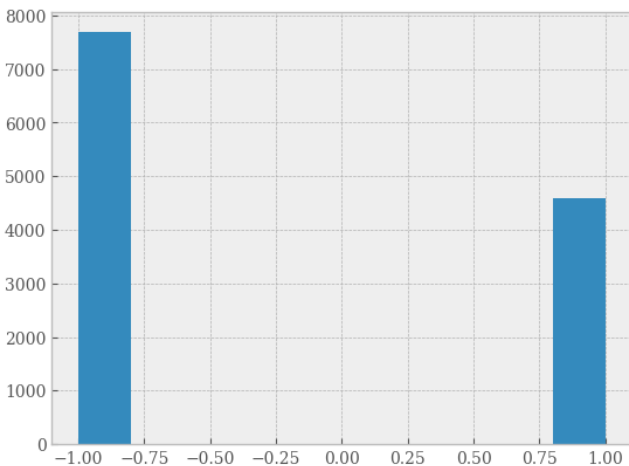
Toplam Veri	Kimlik Avı Olan Veri	Kimlik Avı Olmayan Veri	Veri Oranı
8591	6094	2497	0,7093

Tablo 3. Test Verisi Dağılımı

Toplam Veri	Kimlik Avı Olan Veri	Kimlik Avı Olmayan Veri	Veri Oranı
3683	2613	1070	0,7094

Veri kümesi tanımlarında öğrenme algoritmasını etkileyecek, sadece bir değere yakın verilerin tespiti için tanımlar değerlerine göre grafiğe dönüştürülmüştür. Dönüşen verilerde değerlerin kabul edilemez varyanslar gözlemlenmemiştir. Veri üzerinde manipülasyona gerek duyulmamıştır.

Şekil 2. Örnek Tanım Değer Dağılımı(Google İndeksleme)



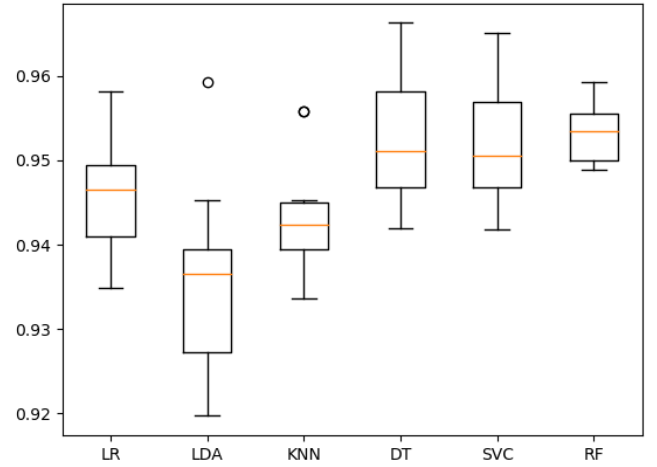
## 5. Algoritma Seçme

Elde edilen öğrenme veri kümesi ile Lojistik Regresyon (LR), Doğrusal Diskriminant Analizi (LDA), En Yakın Komşu(KNN), Kara Ağacı (DT), Destek Vektör Makineleri (SVM), Rasgele Orman (RF) algoritmaları karşılaştırılmıştır. Veri kümesinde kimlik avı ya da meşru siteler yakın oranda ayrıştırıldığı için burada sınıflandırma yaparken “doğruluk” (accuracy) kullanılmıştır. Algoritmalar çapraz doğrulama ile başarı oranı en yüksek algoritma üzerine gidilmiştir.

Tablo 4. Test Verisi Dağılımı

Algoritma	Çapraz Doğrulama Skoru	Standart Sapma
LR	0.9456405501258901	0.00591633200
LDA	0.9355138479031865	0.00650729457
KNN	0.9413347050383084	0.00538125036
DT	0.9522759022118743	0.00259795316
SVM	0.9512281722933643	0.00621256462
RF	0.952391233722284	0.00626242280

Şekil 3. Algoritmaların karşılaştırılması



Karar ağaçları ve destek vektör makineleri algoritmalarında yapılan karşılaştırmalarda belirli aralıklarda yüksek başarımlar sağlandığı görülmüştür ancak ortalama başarımda rastgele orman algoritması daha istikrarlı sonuçlar vermiştir ve ortalama başarımları daha yüksektir.

Alınan sonuçlar neticesinde rastgele orman algoritması ile makine öğrenmesi çalışmasına devam edilmesine karar verilmiştir.

### 5.1. Rasgele Orman Algoritması (Random Forest)

Rastgele orman algoritması hem sınıflandırma hem de regresyon görevlerini yerine getirebilmektedir. Rastgele orman iki veya daha fazla algoritmayı birleştirerek tahmin sonucuna ulaşmaktadır. (Hatwell vd., 2020) Temelde rastgele seçilmiş bir noktadan bir karar ağacı oluşturmaktadır. Bu işlem “N” ağaç sayısı kadar tekrarlanır. Yapılan çalışmada ağaç sayısı 100 olarak

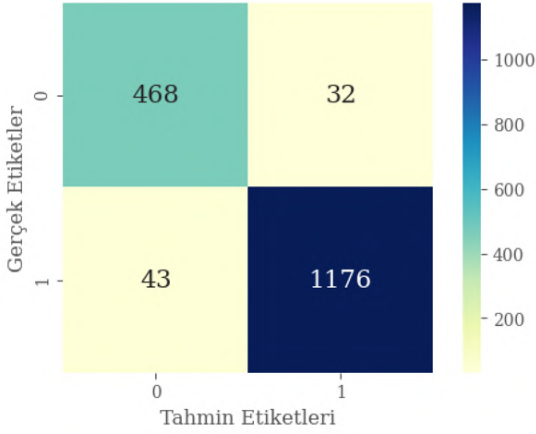
atanmıştır. Ağaç derinliği ve en yüksek yaprak düğümü değeri sınırlandırılmamıştır.

Veri seti üzerinden oluşturulmuş öğrenme ve test verileri kullanılarak önce algoritmayla öğrenmenin tamamlanması sağlanmıştır. Bu aşamada ayrıştırılmış öğrenme veri seti kullanılmıştır. Daha sonra öğrenmenin gerçekleştiğini test etmek için algoritmaya daha önce sokulmamış test verisi ile sonuçlar alınmıştır. Asıl amaç algoritmanın daha önce karşılaşmadığı veri ile vereceği sonuçları saptamaktır.

İlk aşama olarak öğrenme verisi ile bir doğrulama aşaması gerçekleştirilmiştir. Öğrenme veri setinden bir doğrulama seti ayrıştırılmış ve öğrenme sağlanmıştır. Veri içerisinde 6.872 kayıt öğrenme, 1.719 kayıt doğrulama için kullanılmıştır.

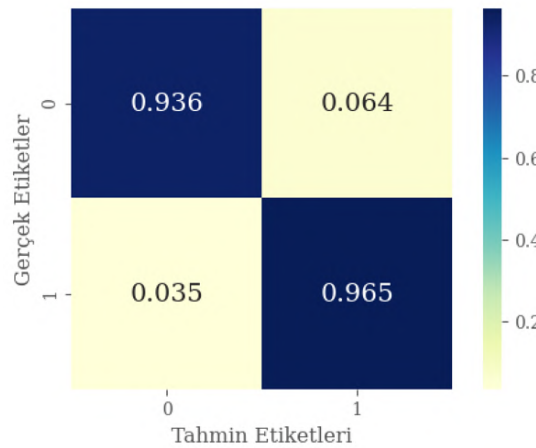
Bu model ile 0.9621 oranında başarılı tahmin yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Doğrulama setinde 1176 kimlik avı, 468 meşru internet sayfası başarı ile tespit edilmiştir.

Şekil 4. Hata Matrisi (Değer)



Doğrulama setinde kimlik avı sayfalarında % 96, meşru internet sayfalarının tespitinde ise %93 başarı elde edilmiştir.

Şekil 5. Hata Matrisi (Oran)



Tanımların özellik sınıfını tahmin etmede aldığı rol, o tanımın önemini ifade etmektedir. Veri seti ve rasgele orman modelindeki özellik önemi aşağıdaki kod çıktısında paylaşılmaktadır.

Tablo 5. Özellik Önemi

Etiket	Önem
Google İndeksleme	0.3108731

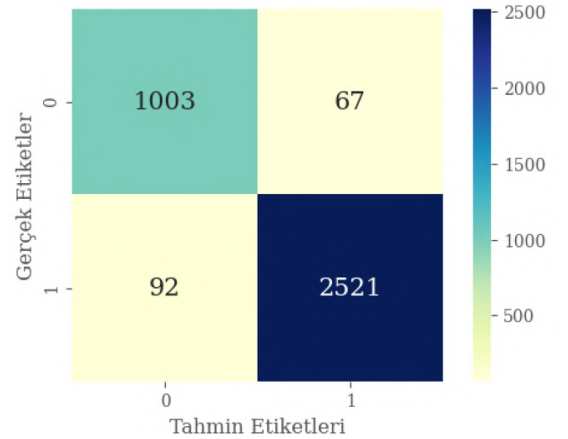
Etiket	Önem
CPR_Puanı	0.286435
Uzun_URL	0.233696
Ön_Son_Ek	0.148223
Çoklu_Alt_Alan_Adı	0.013059
Kayıt_Süresi	0.007714

## 6. Sonuç

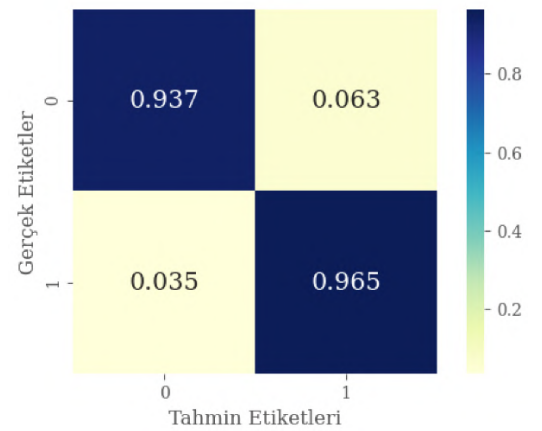
Gerçekleştirilen çalışmada internet sayfalarının verilerinden, sayfanın kimlik avı için hazırlanıp hazırlanmadığı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada rasgele orman modeli kullanılmıştır. Model başarılı bir veri seti ile uygulanmış ve tahmin oranları tatmin edici seviyelerde sonuç vermiştir. Model öğretilmemiş verilerde de yüksek tahmin oranı ile çalışmaktadır.

Modelin başarısı veri dönüşümünde az kayıp yaşanması, doğru makine öğrenmesi algoritmasının seçilmesi, veri seti içerisindeki tanımların tutarlılığı şeklinde aktarılabilir. Ayrıştırılmış test verisi sonuçlarına göre alınan son tahmin değerleri aşağıda paylaşılmıştır.

Şekil 6. Hata Matrisi (Oran) - Test Verisi



Şekil 7. Hata Matrisi (Oran) - Test Verisi



Test veri setinde 3.683 kayıttan 2521 kimlik avı, 1003 meşru internet sayfası başarı ile tespit edilmiştir. Kimlik avı sayfalarında % 96, meşru internet sayfalarının tespitinde ise %93 başarı elde edilmiştir. Toplan doğru tahmin oranı ise %95 olarak saptanmıştır.



## 7. Gelecek Çalışmalar

Model üzerinde elde edilen başarı oranı, modelin kullanıcılara gönderilmiş e-postalar içerisindeki bağlantıların kimlik avı tespitini yaptıktan sonra engellemesi ya da sayfayla ilgili bilgilendirme yapacak bir mekanizmanın (Xue vd., 2020) içerisinde kullanılabilmesini göstermiştir. Bir tespit mekanizması ögesi olarak makine öğrenmesi alt yapısı ile kullanıcıların güvenli bağlantılara erişmesi için gerekli altyapıda önemli bir rol üstlenebilecektir. Kullanıcıya ulaşan e-posta içerisindeki bağlantı geliştirilmiş bir kod yardımı ile bu modelde kullanılan veri seti isterlerine dönüştürülecek, model gelen veriye göre karar verip kullanıcının ilgili bağlantı ile iletişimini yönetebilecektir.

## Kaynakça

- CNN | Phishing scams reel in your identity, CNN. [Çevrimiçi]. <https://edition.cnn.com/2003/TECH/internet/07/21/phishing.scam/index.html> [Erişim: 27-Eylül-2021].
- Keepnetlabs | 2020 phishing statistics, Keepnetlabs. [Çevrimiçi]. <https://www.keepnetlabs.com/phishing-statistics-you-need-to-know-to-protect-your-organization/#easy-footnote-bottom-3-3791> [Erişim: 19-Eylül-2021].
- Verizon | 2020 Summary of Findings, Verizon. [Çevrimiçi]. <https://enterprise.verizon.com/resources/reports/dbir/2020/summary-of-findings/> [Erişim: 6-Ekim-2021].
- Bhardwaj, A., Sapra, V., Kumar, A., Kumar, N., & Arthi, S. (2020). Why is phishing still successful?. *Computer Fraud & Security*, 2020(9), 15-19.
- Ometov, A., Bezzateev, S., Mäkitalo, N., Andreev, S., Mikkonen, T., & Koucheryavy, Y. (2018). Multi-factor authentication: A survey. *Cryptography*, 2(1), 1.
- Apandi, Siti & Sallim, Jamaludin & Sidek, Roslina. (2020). Types of anti-phishing solutions for phishing attack. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 769. 012072. 10.1088/1757-899X/769/1/012072. M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- Al-Ahmadi, S. (2020). A Deep Learning Technique for Web Phishing Detection Combined URL Features and Visual Similarity. *International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC)* Vol, 12.
- Awasthi, A., & Goel, N. (2021). Phishing Website Prediction: A Machine Learning Approach. In *Progress in Advanced Computing and Intelligent Engineering* (pp. 143-152). Springer, Singapore.
- Hema, R., Ramya, V., Sahithya, K., & Sekharan, R. (2020). Detecting of Phishing Websites using Deep Learning. *Journal of Critical Reviews*, 7(11), 3606-3613.
- Hossain, S., Sarma, D., & Chakma, R. J. (2020). Machine Learning-Based Phishing Attack Detection. *Machine Learning*, 11(9).
- Hatwell, J., Gaber, M. M., & Azad, R. M. A. (2020). CHIRPS: Explaining random forest classification. *Artificial Intelligence Review*, 53, 5747-5788.
- Xue, M., Yuan, C., Wu, H., Zhang, Y., & Liu, W. (2020). Machine learning security: Threats, countermeasures, and evaluations. *IEEE Access*, 8, 74720-74742.



# Yem Kaynaklı Borun Gökkuşuğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Yağ Asidi Profiline Etkisi

Mustafa Öz<sup>1\*</sup>, Burak Evren İnanan<sup>2</sup>, Suat Dikel<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Aksaray Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Su Ürünleri ve Hastalıkları Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5264-7103), [ozmustafa@aksaray.edu.tr](mailto:ozmustafa@aksaray.edu.tr)

<sup>2</sup> Aksaray Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Su Ürünleri ve Hastalıkları Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2888-8457), [burakinanan@aksaray.edu.tr](mailto:burakinanan@aksaray.edu.tr)

<sup>3</sup> Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5728-7052), [dikel@cu.edu.tr](mailto:dikel@cu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 11 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 06 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008443)

**ATIF/REFERENCE:** Öz, M., İnanan, B.E. & Dikel, S. (2021). Yem Kaynaklı Borun Gökkuşuğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Yağ Asidi Profiline Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 188-192.

## Öz

Bu çalışmada su ürünleri yetiştiriciliği açısından çok önemli bir balık türü olan gökkuşuğu alabalığı yemine %0, % 0,01, % 0,05, % 0,10 ve % 0,20 oranlarında bor ilave edilmiş ve 90 gün boyunca besleme yapılmıştır. Borik asit olarak ilave edilen borun, gökkuşuğu alabalığının yağ asidi profili üzerine etkileri araştırılmıştır. Araştırma başlangıcında yaklaşık 90 gram olan alabalıklar, 295 gram ağırlığa kadar beslenmiş ve hasat edilerek analize hazırlanmıştır. Balıkların filetoları çıkartıldıktan sonra balığın dorsal kısmında bulunan kaslar alınarak homojenize edilmiştir. Araştırmada balık kas dokusunun temel doymuş yağ asitlerini (DYA); laurik asit (C12:0), miristik asit (C14:0), palmitik asit (C16:0), margaric asit (C17:0), stearik asit (C18:0), arachidic acid (C20:0) ve lignoceric asit (C24:0) oluşturmaktadır. Gökkuşuğu alabalığı kas dokusunun temel tekli doymamış yağ asitlerini (TDYA); myristoleic acid (C14:1), palmitoleic acid (C16:1), oleic acid (C18:1 n9), vaccenic acid (C18:1 n7), eicosenoic acid (C20:1) ve erucic acid (C22:1n9) oluşturmuştur. Balıktan ekstrakte edilen balık yağının temel çoklu doymamış yağ asitlerini (ÇDYA) ise; linoleic acid (C18:2 n6), α-linolenic acid (C18:3 n3), eicosadienoic acid (C20:2) arachidonic acid (C20:4 n6), eicosapentaenoic acid (C20:5 n3) ve docosaheptaenoic acid C22:6 n3 oluşturmuştur. Araştırma sonucunda; en yüksek DYA ve TDYA oranı kontrol gurubunda görülürken en düşük DYA ve TDYA oranı en fazla bor uygulanan grupta görülmüştür. Balık yemlerine ilave edilen borun balığın ÇDYA oranlarında artış sağladığı görülmektedir. Yem kaynaklı borun yağ asidi profilini etkilediği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Gökkuşuğu alabalığı, Yağ asidi, Bor.

## Effect of Dietary Boron on Fatty Acid Profile of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)

### Abstract

In this study, 0.00%, 0.01%, 0.05%, 0.10%, and 0.20% of boron were added to rainbow trout feed as a very important fish species in aquaculture. After 90 days of the feeding trial, effect of boron on fatty acid profile of rainbow trout were determined. During the feeding trial average approximately 90 g of rainbow trouts were fed up to average approximately 295 g, and then harvested. After the fish were filleted, their muscles in the dorsal part of the fish were removed and homogenized. Basic saturated fatty acids of fish muscle tissue were Lauric acid (C12:0), myristic acid (C14:0), palmitic acid (C16:0), Margaric acid (C17:0), Stearic acid (C18:0), Arachidic acid (C20:0) and Lignoceric acid (C24:0) while essential monounsaturated fatty acids of muscle tissue were Myristoleic acid (C14:1), Palmitoleic acid (C16:1), Oleic acid (C18: n9), Vaccenic acid (C18:1 n7), Eicosenoic acid (C20:1) and Erucic acid (C22:1n9). The basic polyunsaturated fatty acids of our fish meat were Linoleic acid (C18:2 n6), α-Linolenic acid (C18:3 n3), eicosadienoic acid (C20:2) Arachidonic acid (C20:4 n6), Eicosapentaenoic acid (C20:5 n3) and Docosaheptaenoic acid C22:6 n3). As a result, while the highest SFA and MUFA ratios were found in control group, the lowest SFA and MUFA ratios were observed in dietary boron groups. It has been observed that boron added to feeds increased the PUFA ratios of fish meat. It was concluded that feed-borne boron acid affected the fatty acid profile of fish meat.

**Keywords:** Rainbow trout, Fatty acid, Boron.

\* Sorumlu Yazar: [ozmustafa@aksaray.edu.tr](mailto:ozmustafa@aksaray.edu.tr)

## 1. Giriş

Balıklar ve diğer su ürünleri iyi bir protein kaynağı olmasının yanında önemli bir yağ kaynağıdır ve dokosaheksaenoik asit (22:6n-3), eikosapentaenoik asit (20:5n-3) ve alfa-linolenik asit gibi birçok çoklu doymamış omega ( $\omega$ )-3 yağ asidini içerir.  $\omega$ -3 PUFA'nın insan sağlığı ve insan gelişimi üzerinde olumlu ve koruyucu etkileri vardır (Uçak ve ark., 2019; Işık ve ark., 1999). Yapılan birçok çalışmada  $\omega$ -3 PUFA'nın meme, kolon, prostat, karaciğer ve pankreas kanseri dâhil olmak üzere çoğu kanser gelişimini baskılamada olumlu bir rol oynadığı bildirilmiştir. Yağlı balıklar EPA ve DHA'nın en önemli doğal kaynağı olduğundan, son yıllarda balık tüketiminde önemli talep artışları olmuştur (Uçak ve ark., 2019).

Doğal stokların azalması ve aşırı avcılık baskısı gibi sebeplerle avcılıktan gelen ürünün artırılmasındaki problemler, su ürünleri yetiştiricilik sektörünü daha da önemli bir konuma getirmiştir. Su ürünleri yetiştiriciliği bütün dünyada çok önemli bir meslek kolu haline gelmektedir. Dünya nüfusunun artması ve buna bağlı olarak protein ihtiyacının artması su ürünlerinin değerini daha da arttırmıştır. Özellikle şuan içinde bulunduğumuz küresel covid-19 salgını bağışıklık sistemini destekleyen su ürünleri gibi gıdaları çok daha önemli bir hale getirmektedir.

Türkiye gibi tamamen karnivor türlere dayalı bir yetiştiricilik modeline sahip olan ülkelerin su ürünleri sektöründeki büyümeyi sürdürülebilir halde tutabilmesi için ya yetiştirilen mevcut türleri gözden geçirmesi gerekmekte (Öz ve Üstüner, 2021) ya da mevcut türleri beslemede kullandıkları yem içeriklerini yenileyerek yemden yararlanmayı arttırmaları gerekmektedir.

Yetiştiricilik açısından yatırım maliyetlerinin yüksekliği, üretim sürecinin uzunluğu ve yetiştiricilik teknolojilerinin gereksinimlerinin yüksekliği birçok türün yetiştiriciliğini zor hale getirmekte hatta bu durumun gelecekte ciddi kısıtlamalar yaratması beklenmektedir (Dikel, 2021).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda araştırmacılar birçok maddenin balık yemlerinde yem katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır (Inanan ve ark., 2021; Öz, M., 2018; Acar ve ark., 2021; Acar ve ark., 2019; Öz ve ark., 2018a). Borik asit te bu araştırmalara konu olan maddelerden biridir. Özellikle alabalık yemlerine ilave edilerek büyüme performansı (Öz ve ark., 2018b; Öz ve ark., 2017), balık etinin besinsel kompozisyonu (Öz ve ark., 2021) ve uzun süreli beslemelerde oluşturabileceği olumsuz etkileri araştırılmıştır (Öz ve ark., 2020a; Öz ve ark., 2020b). Fakat bir maddenin balık yemleri için yem katkı maddesi olarak önerilebilmesi için çok kapsamlı araştırmalara gereksinim duyulmaktadır. Sadece bir balık türünün bir boy grubu üzerine yapılan araştırmalar yeterli gelmeyebilir. Kesin bir değerlendirme yapabilmek için, farklı boy ve yaş grupları, farklı cinsiyet, farklı su sıcaklıkları, farklı mevsimler ve farklı sürelerde araştırmalar yapmak gerekir. Ayrıca elde edilen sonuçlar büyüme parametreleri açısından önemli olsa da balığın besin içeriği, et kalitesi üzerine olası etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, gökkuşağı alabalığının büyüme parametreleri üzerine olumlu etkileri olduğu bildirilen borik asit ilaveli yemle gökkuşağı alabalığı 90 gün beslenmiş ve balığın en faydalı kısımlarından olan yağ asitleri üzerine olan olası etkileri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Balıklar

Bu çalışma Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulun tarafından onaylanmıştır (no. 3-2/2016, Adana). Besleme denemesi 90 gün boyunca sürmüştür ve beton havuzlar içerisine yerleştirilen 1 m x 1 m çerçeve ölçüsü ve 1,5 m derinliğe sahip ağ kafeslerde 1 metrelik seviyesine kadar su doldurularak yapılmıştır. Araştırma başlangıcında ortalama yaklaşık 90 gram ağırlığa sahip olan gökkuşağı alabalığı araştırma sonunda ortalama yaklaşık 295 gram canlı ağırlığa ulaşmış ve hasat edilerek laboratuvara getirilmiştir.

### 2.2. Deneysel Grupları ve Yemler

Besleme denemesi öncesi balıklar 2 hafta boyunca adaptasyon süresi geçirmişler ve bu süre boyunca ticari alabalık yemi ile beslenmiştir (Skretting, Stavanger, Norveç). Bu ticari yemin besinsel değerleri Tablo 1 de gösterilmektedir. Adaptasyon sonrası, 4 farklı miktarda (% 0,01, % 0,05, % 0,10 ve % 0,20) bor içeren yemler hazırlanmış olup, bor ilave edilmeyen yem, kontrol grubunun yemi olarak kullanılmıştır. Yemdeki bor oranları, borik asit (Sigma–Aldrich, Steinheim, Almanya) ile ayarlanmıştır. Bu çalışmadaki bor miktarlarına önceki çalışmalarda kullanılan bor miktarları dikkate alınarak karar verilmiştir (Öz ve ark., 2021; Öz ve ark., 2018; Ardo ve ark., 2007).

Tablo 1. Çalışmada kullanılan ticari alabalık yemine ait besinsel değerler.

İçerik	Miktar (%)
Ham Protein	45
Yağ	20
Ham selüloz	2.0
Ham Kül	10
<b>Makro elementler</b>	
Fosfor	1.10
Kalsiyum	1.90
Sodyum	0.30

### 2.3. Yağ Asidi Analizi

Yağlar temel olarak Folch ve ark., (1957) tarafından belirlenen prosedüre göre ekstrakte edilmiştir. Yağların ekstraksiyonu sonrası, yağ asidi metil esterleri (YAME) Metcalfe ve Schmitz (1961) tarafından tanımlanan şekilde hazırlanmış ve Czesny ve Dabrowski 1998 tarafından önerilen metoda uygun bir şekilde analiz edilmiştir. Metot kısaca şu şekilde özetlenebilir; elde edilen YAME, Agilent 6820 A model alev İyonizasyon Dedektörlü ve DB 23 kapiler kolonlu (60 m x 0.25 mm i.d. x 0.25  $\mu$ m) gaz kromatografisi cihazı ile ayrılmıştır. Gaz kromatografisi çalışma şartları şu şekildedir; enjektör sıcaklığı 35 dakika 190 °C olup, sonrasında dakikada 30 °C hızla 220 °C çıkartılmış ve bu sıcaklıkta 5 dakika tutulmuştur. Taşıyıcı gaz olarak hidrojen (2 ml/dak ve split oranı 30:1 olarak) kullanılmıştır. Her bir yağ asidi, yağ asitleri karışık standardından (Supelco 37 component FAME mix) elde edilen alıkonma zamanları ile karşılaştırılarak tayin edilmiştir.

## 2.4. İstatistiksel Analiz

Elde edilen yağ asitlerinin gruplar arasındaki anlamlı farkların gösterilmesinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve sonrasında ikili karşılaştırmalar için post-hoc Tukey testi

uygulanmıştır. İstatistiksel analizlerde SPSS 15.0 programı kullanılmıştır. Alınan sonuçlar,  $P < 0,05$  önemlilik derecesine göre değerlendirilmiştir

Tablo 2. Farklı oranlarda bor ilave edilmiş yemlerle beslenen gökkuşuğu (*Oncorhynchus mykiss*) 'nın yağ asidi profilleri.

Yağ asitleri	0.00 %	0.01 %	0.05 %	0.10 %	0.20 %
C12:0	2,52±0,06 <sup>a</sup>	1,81±0,02 <sup>b</sup>	1,62±0,03 <sup>c</sup>	1,29±0,09 <sup>d</sup>	1,20±0,02 <sup>d</sup>
C14:0	2,71±0,02 <sup>e</sup>	2,99±0,03 <sup>d</sup>	3,21±0,04 <sup>c</sup>	3,46±0,05 <sup>b</sup>	3,64±0,06 <sup>a</sup>
C14:1	0,82±0,03 <sup>a</sup>	0,65±0,02 <sup>b</sup>	0,61±0,04 <sup>b</sup>	0,45±0,02 <sup>c</sup>	0,45±0,04 <sup>c</sup>
C15:0	1,02±0,03 <sup>d</sup>	1,41±0,05 <sup>c</sup>	1,55±0,07 <sup>b</sup>	1,89±0,02 <sup>a</sup>	1,98±0,03 <sup>a</sup>
C16:0	11,89±0,23 <sup>a</sup>	10,25±0,38 <sup>b</sup>	8,98±0,08 <sup>c</sup>	8,08±0,03 <sup>d</sup>	7,50±0,23 <sup>d</sup>
C16:1	0,52±0,05 <sup>a</sup>	0,38±0,01 <sup>b</sup>	0,34±0,01 <sup>b</sup>	0,32±0,02 <sup>b</sup>	0,25±0,02 <sup>c</sup>
C17:0	1,05±0,02 <sup>a</sup>	0,90±0,03 <sup>b</sup>	0,63±0,03 <sup>c</sup>	0,44±0,04 <sup>d</sup>	0,39±0,03 <sup>d</sup>
C17:1	0,27±0,02 <sup>d</sup>	0,35±0,01 <sup>c</sup>	0,43±0,02 <sup>bc</sup>	0,48±0,03 <sup>b</sup>	0,61±0,06 <sup>a</sup>
C18:0	1,82±0,04 <sup>e</sup>	2,18±0,04 <sup>d</sup>	2,39±0,04 <sup>c</sup>	2,54±0,06 <sup>b</sup>	2,73±0,06 <sup>a</sup>
C18:1 n9	21,44±0,61 <sup>a</sup>	19,65±0,47 <sup>b</sup>	18,30±0,22 <sup>c</sup>	17,10±0,11 <sup>d</sup>	14,18±0,34 <sup>c</sup>
C18:1n7	2,75±0,10 <sup>a</sup>	2,33±0,09 <sup>b</sup>	2,21±0,12 <sup>bc</sup>	2,04±0,03 <sup>cd</sup>	1,89±0,09 <sup>d</sup>
C18:2 n6	11,77±0,47 <sup>c</sup>	12,12±0,13 <sup>c</sup>	12,47±0,03 <sup>bc</sup>	12,93±0,08 <sup>b</sup>	14,58±0,43 <sup>a</sup>
C18:3 n3	3,19±0,06 <sup>e</sup>	3,60±0,06 <sup>d</sup>	4,11±0,02 <sup>c</sup>	4,54±0,02 <sup>b</sup>	4,75±0,14 <sup>a</sup>
C20:0	2,57±0,04 <sup>d</sup>	2,85±0,05 <sup>c</sup>	2,95±0,04 <sup>c</sup>	3,08±0,03 <sup>b</sup>	3,52±0,04 <sup>a</sup>
C20:1	1,22±0,03 <sup>a</sup>	1,02±0,03 <sup>b</sup>	0,87±0,02 <sup>c</sup>	0,73±0,04 <sup>d</sup>	0,43±0,03 <sup>e</sup>
C20:2	0,89±0,09 <sup>d</sup>	1,15±0,02 <sup>c</sup>	1,28±0,03 <sup>c</sup>	1,45±0,02 <sup>b</sup>	1,64±0,06 <sup>a</sup>
C20:3n6	0,23±0,02 <sup>d</sup>	0,41±0,07 <sup>c</sup>	0,52±0,03 <sup>c</sup>	0,64±0,01 <sup>b</sup>	0,92±0,04 <sup>a</sup>
C20:4 n6	0,81±0,02 <sup>a</sup>	0,86±0,06 <sup>a</sup>	0,86±0,08 <sup>a</sup>	0,91±0,03 <sup>a</sup>	0,86±0,06 <sup>a</sup>
C20:5 n3	3,42±0,11 <sup>d</sup>	3,87±0,05 <sup>c</sup>	4,29±0,08 <sup>b</sup>	5,19±0,06 <sup>a</sup>	5,19±0,16 <sup>a</sup>
C22:1n9	0,43±0,07 <sup>c</sup>	0,88±0,81 <sup>b</sup>	0,94±0,07 <sup>b</sup>	1,23±0,02 <sup>a</sup>	1,31±0,02 <sup>a</sup>
C22:2	0,27±0,04 <sup>d</sup>	0,28±0,04 <sup>d</sup>	0,71±0,02 <sup>c</sup>	0,87±0,06 <sup>b</sup>	1,14±0,06 <sup>a</sup>
C23:0	0,32±0,04 <sup>b</sup>	0,32±0,01 <sup>b</sup>	0,35±0,05 <sup>ab</sup>	0,36±0,06 <sup>ab</sup>	0,46±0,06 <sup>a</sup>
C24:0	0,97±0,11 <sup>c</sup>	1,11±0,02 <sup>c</sup>	1,45±0,03 <sup>b</sup>	1,72±0,10 <sup>a</sup>	1,76±0,08 <sup>a</sup>
C22:6 n3	9,58±0,23 <sup>d</sup>	10,71±0,18 <sup>c</sup>	11,28±0,06 <sup>b</sup>	11,75±0,19 <sup>b</sup>	12,37±0,19 <sup>a</sup>
DYA	24,88±0,23 <sup>a</sup>	23,81±0,22 <sup>b</sup>	23,14±0,04 <sup>c</sup>	22,87±0,12 <sup>c</sup>	23,18±0,09 <sup>c</sup>
TDYA	27,43±0,25 <sup>a</sup>	25,25±0,27 <sup>b</sup>	23,69±0,15 <sup>c</sup>	22,36±0,02 <sup>d</sup>	18,98±0,31 <sup>e</sup>
ÇDYA	30,15±0,45 <sup>e</sup>	33,00±0,07 <sup>d</sup>	35,52±0,07 <sup>c</sup>	38,28±0,04 <sup>b</sup>	41,45±0,29 <sup>a</sup>

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Besleme periyodu sonrasında hasat edilen balıklarımızdan alınan kas örneklerinin yağ asidi profiline bakılmış ve sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur.

Bu çalışmada balıktan alınan numunelerde toplam 24 adet yağ asidi tanımlanmıştır. Tanımlanabilen bu yağ asitlerinin 9 DYA'nın yaklaşık %50'sini oluşturmuştur.

Özellikle ÇDYA ve TDYA'lerinin insan sağlığı ve gelişimi üzerinde yararlı ve koruyucu etkileri vardır. Yapılan birçok çalışmada yağ asitlerinin çoğu kanser gelişimini baskılamada ve

tanesi doymuş (DYA), 7 tanesi tekli doymamış (TDYA) ve 8 tanesi ise çoklu doymamış yağ asitlerindedir (ÇDYA).

Balıktaki DYA, yeme ilave edilen borik asit miktarı arttıkça artış göstermiş fakat %0.05, %0.10 ve %0.20 borik asit ilave edilen gruplar arasında istatistiksel olarak fark oluşmamıştır. Araştırmamızda palmitik asit, hem borik asit ilaveli gruplarda hemde kontrol grubunda en baskın DYA olmuş ve toplam

kardiyovasküler hastalık riskini azaltmada güçlü bir rol oynadığı bildirilmiştir. Özellikle uzun zincirli n-3 serisi yağ asitlerinin ana kaynağı balıklardır. Sağlık bilinci yüksek tüketiciler hangi balığın hangi mevsimde hangi yağ asitlerince zengin olduğunu takip etmekte ve tüketimini buna göre şekillendirmektedir. Bu yüzden



balıklarda yağ asitlerinin belirlenmesi oldukça önemli bir konudur.

Gökkuşluğu alabalığının palmitik asit oranını %15.98-18.41 arasında olduğu bildirilmiştir (Dernekbaşı ve ark., 2011). Başka bir araştırmada da teleostlarda palmitik asitin hemen hemen tüm balık dokularında baskın olduğu rapor edilmiştir (Aras ve ark., 2003).

Tekli doymamış yağ asitleri incelendiğinde kontrol grubunda 27,43±0,25 olan toplam değerimiz borik asit ilavesi arttıkça düşüş göstermiş ve % 0,20 borik asit ilaveli grupta 18,98±0,3'e düşmüştür.

Araştırmada en baskın tekli doymamış yağ asidi oleik asit olmuştur. Bu sonuca benzer bir şekilde, Dernekbaşı ve ark. (2011) Gökkuşluğu alabalığının en baskın tekli doymamış yağ asidini oleik asit ve palmitoleik asit olarak bildirmiştir. Balıklarda yumurta ve gonad gelişimi için ihtiyaç duyulan metabolik enerji TDYA'lardan sağlandığından balıkta en çok depolanabilen yağ asitleri TDYA'lardır (Sargent, 1995).

Toplam DYA ve TDYA değerlerinin aksine borik asit ilaveli gruplarımızın toplam ÇDYA miktarlarında artış görülmüştür ve elde edilen değerlerimiz sırasıyla; 30.18, 33.00, 35.52, 38.28 ve 41.45 bulunmuştur.

İnsan sağlığı açısından önemli bir yere sahip olan EPA (20:5 ω-3; 3.42-5.19) ve DHA(22:6 ω-3; 9.58-12.37) miktarı borik asit ilaveli yemle beslenen gruplarda daha yüksek bulunmuştur. Afridi ve ark. (2019) yaptığı araştırmada bakırın rohu (Labeo rohita) ve mrigal'in (Cirrhinus mrigala) kas yağ asidi profilleri üzerindeki toksik etkilerini incelemişler. Araştırma sonucunda bakıra maruz bırakılan rohu ve mrigal'in EPA miktarlarında artış olduğunu bildirmiştir. Ayrıca rohu'un DHA miktarının azaldığını ve mrigal'in DHA miktarlarında artış olduğunu bildirmiştir.

Nil tilapisi üzerine yapılan bir araştırmada karaciğer ve solungaç dokularından alınan örneklerde fosfolipid alt sınıflarının yağ asidi profiline deltametrinin toksik etkisi incelenmiştir. Araştırmada DYA ve TDYA'larda azalma görüldüğü ve ÇDYA miktarlarında ise artış olduğu rapor edilmiştir (Cengiz ve ark., 2017).

Balık yağı yerine bitkisel yağların gökkuşluğu alabalığının büyüme performansı ve yağ asidi profili üzerindeki etkilerinin araştırıldığı başka bir araştırmada yem rasyonunun içeriğinin balığın yağ asidi profilini önemli ölçüde etkilediği bildirilmiştir (Yıldız ve ark., 2018).

Balıkların yağ asidi profilindeki türler içindeki ve türler arasındaki varyasyon, balıkların beslendiği yemlerin rasyonlarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır (Sargent ve ark., 1995; Ahigren ve ark., 1996 ). Bu araştırmada da balık yemine ilave edilen borik asit, gruplarımızın yağ asitlerinin farklılaşmasına sebep olmuştur.

#### 4. Sonuç

Araştırma sonucunda; en yüksek DYA ve TDYA oranı kontrol grubunda görülürken en düşük DYA ve TDYA oranı en fazla bor uygulanan grupta görülmüştür. Balık yemlerine ilave edilen bor mineralinin balıkta en çok depolanabilen yağ asitlerinin toplam DYA ve TDYA oranında düşüşe, toplam ÇDYA oranında ise artışa sebep olduğu sonucuna varılmıştır.

#### Kaynakça

- Acar, Ü., Kesbiç, O. S., İnanan, B. E., & Yılmaz, S. (2019). Effects of dietary Bergamot (Citrus bergamia) peel oil on growth, haematology and immune response of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture Research*, 50(11), 3305-3312.
- Acar, Ü., Kesbiç, O. S., Yılmaz, S., İnanan, B. E., Zemheri-Navruz, F., Terzi, F., ... & Parrino, V. (2021). Effects of Essential Oil Derived from the Bitter Orange (*Citrus aurantium*) on Growth Performance, Histology and Gene Expression Levels in Common Carp Juveniles (*Cyprinus carpio*). *Animals*, 11(5), 1431.
- Afridi, A. J., Zuberi, A., Yousafzai, A. M., Kamran, M., & Ullah, S. (2019). Hemp (Marijuana) reverted Copper-induced toxic effects on the essential fatty acid profile of *Labeo rohita* and *Cirrhinus mrigala*. *Molecular biology reports*, 46(1), 391-401.
- Ahigren, G., Sonesten, L., Boberg, M., & Gustafsson, L. B. (1996). Fatty acid content of some freshwater fish in lakes of different trophic levels—a bottom-up effect?. *Ecology of Freshwater Fish*, 5(1), 15-27.
- Aras N.M., Haliloğlu H.İ., Bayır A., Atamanalp M. and A.N. Sirkecioğlu, 2003. Karasu havzası yeşildere çayı olgun dere alabalıkları (*Salmo trutta macrostigma*, Dumeril, 1858) 'nda farklı dokuların yağ asidi kompozisyonlarının karşılaştırılması. *Turkish J. Vet. Anim. Sci.*, 27:887-892.
- Ardó L, Yin G, Xu P, Váradi L, Szigeti G, Jeney Z, Jeney G. 2008. Chinese herbs (*Astragalus membranaceus* and *Lonicera japonica*) and boron enhance the non-specific immune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and resistance against *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture*. 275:26–33.
- Cengiz, E. I., Bayar, A. S., Kızmaz, V., Başhan, M., & Satar, A. (2017). Acute toxicity of deltamethrin on the fatty acid composition of phospholipid classes in liver and gill tissues of Nile tilapia. *International Journal of Environmental Research*, 11(3), 377-385.
- Czesny S, Dabrowski K (1998) The effect of egg fatty acid concentrations on embryo viability in wild and domesticated walleye (*Stizostedion vitreum*). *Aquat Living Resour* 11(6):371–378. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(99\)80002-3](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(99)80002-3)
- Dernekbaşı, S., Karayücel, İ., & Öksüz, A. (2011). Effect of dietary canola oil level on fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* L.).
- Dikel, S. (2021). *Ilıman İklim Balıkları Yetiştiriciliği*. Editör, Suat DİKEL. Akademisyen kitabevi, ISBN: 978-625-7275-63-7, DOI: 10.37609/akya.559.
- Folch J, Lees M, Stanley GS (1957) A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem*. 226(1):497–509.
- İşık O, Sarihan E, Kuşvuran E, Gül Ö, Erbatur O (1999) Comparison of the fatty acid composition of the freshwater fish larvae *Tilapia zillii*, the rotifer *Brachionus calyciflorus*, and the microalgae *Scenedesmus abundans*, *Monoraphidium minutum* and *Chlorella vulgaris* in the algae-rotifer-fish larvae food chains. *Aquaculture* 174(3–4):299–311.

- İnanan, B. E., Acar, Ü., & İnanan, T. (2021). Effects of dietary *Ferula elaeochytris* root powder concentrations on haematology, serum biochemical parameters, spermatozoa parameters, and oxidative status in tissues of males goldfish (*Carassius auratus*). *Aquaculture*, 544, 737087.
- İnanan, B. E., Acar, Ü., (2019). Evaluation of Sugar Beet Leave Extracts in Goldfish (*Carassius auratus*) Diets: Effects on Blood and Semen Parameters. *Acta Aquatica Turcica*, 15(4), 458-468.
- Metcalf LD, Schmitz AA (1961) The rapid preparation of fatty acid esters for gas chromatographic analysis. *Anal Chem* 33(3):363–364. <https://doi.org/10.1021/ac60171a016>.
- Öz, M. (2018). Effects of garlic (*Allium sativum*) supplemented fish diet on sensory, chemical and microbiological properties of rainbow trout during storage at– 18 C. *LWT*, 92, 155-160.
- Öz, M., Dikel, S., & Durmus, M. (2018a). Effect of black cumin oil (*Nigella sativa*) on the growth performance, body composition and fatty acid profile of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 17(4), 713-724.
- Öz, M., Dikel, S., İnanan, B. E., Karaşahin, T., Durmuş, M. U. Y., & Uçar, Y. (2017). Borik asidin gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*)'nın hepatosomatik ve viserosomatik indeks değerleri üzerine etkileri. *Journal of Advances in VetBio Science and Techniques JAVST*, 2(1), 6-10.
- Öz, M., Inanan, B. E., & Dikel, S. (2018b). Effect of boric acid in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth performance. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 990-993.
- Öz, M., Karaşahin, T., Aksoy, N. H., Inanan, B. E., & DIKEL, S. (2020b). Harmful effects of dietary supplementation of boron on blood parameters of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 71(2), 2227-2234.
- Öz, M., Tatil, T., & Dikel, S. (2021). Effects of boric acid on the growth performance and nutritional content of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Chemosphere*, 129895.
- Öz, M., Üstüner, E. (2021). Sazan (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) Yetiştiriciliği. *Ilıman İklim Balıkları Yetiştiriciliği*. Editör, Suat DİKEL. Akademisyen kitabevi, ISBN: 978-625-7275-63-7, DOI: 10.37609/akya.559.
- Öz, M., Yavuz, O., & Bolukbas, F. (2020a). Histopathology changes in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) consuming boric acid supplemented fish fodder. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 62, 126581.
- Sargent, J. R. (1995). Origins and function of eggs lipids: Nutritional implication. *Broodstock management and egg and larval quality*, 353-372.
- Sargent, J. R., Bell, J. G., Bell, M. V., Henderson, R. J., & Tocher, D. R. (1995). Requirement criteria for essential fatty acids. *Journal of applied Ichthyology*, 11(3/4), 183-198.
- Uçak, I., Oz, M., & Maqsood, S. (2019). Products based on omega-3 polyunsaturated fatty acids and health effects. *The Role of Alternative and Innovative Food Ingredients and Products in Consumer Wellness*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands.
- Yıldız, M., Eroldoğan, T. O., Ofori-Mensah, S., Engin, K., & Baltacı, M. A. (2018). The effects of fish oil replacement by vegetable oils on growth performance and fatty acid profile of rainbow trout: Re-feeding with fish oil finishing diet improved the fatty acid composition. *Aquaculture*, 488, 123-133.



## Gıda ve Beslenme Açısından D-Tagatoz

Hasan Yetim<sup>1,2</sup>, İsmail Hakkı Tekiner<sup>3,4</sup>

<sup>1\*\*</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5388-5856), [hasan.yetim@izu.edu.tr](mailto:hasan.yetim@izu.edu.tr)

<sup>2</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Helal Gıda Ar-Ge Merkezi, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7248-2446), [ismail.tekiner@izu.edu.tr](mailto:ismail.tekiner@izu.edu.tr)

<sup>4</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gıda ve Beslenme Bölümü, İstanbul, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 5 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005082)

**ATIF/REFERENCE:** Yetim, H. & Tekiner, İ.H. (2021). Gıda ve Beslenme Açısından D-Tagatoz. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 193-198.

### Öz

Tagatoz, genellikle süt ürünlerinde bulunan doğal ve altı karbonlu bir monosakkarit (ketoheksoz) şekerdir. İlk defa Gilbert Levin tarafından elde edilen Tagatozun tatlılık derecesi sükroza yakın ve kalorisi düşüktür. FAO ve WHO tarafından 2001 yılından itibaren güvenilir kabul edilen D-Tagatoz (D-tag), son yıllarda artan şeker tüketimine bağlı obezite, diyabet, ağız sağlığı ve sindirim sistemi sorunlarına karşı alternatif bir tatlandırıcı olarak öne çıkmaktadır. Bu ilginin temelinde ise Tagatozun sükroza oranla daha az metabolize edilmesi, ince bağırsakta daha düşük emilimi, kolon mikroflorası tarafından fermente edilebilmesi, antihiperglisemik oluşu, prebiyotik olarak gut sağlığını pozitif anlamda desteklemesi ile vücuttan idrar yoluyla uzaklaştırılabilmesi bulunmaktadır. Ayrıca, araştırmalar, D-tagatozun genotoksik etkisi olmadığını da göstermektedir. Glisemik indeksi düşük ve antidiyabetik etkisi olduğu kabul edilen D-Tagatozun doğal kaynakları dışında ticari olarak daha yüksek miktarlarda elde edilmesi, süt şekeri laktozun yapı taşı galaktozun, enzimatik ya da alkali izomerizasyonu ile sağlanmaktadır. Tagatoz üretimi amacıyla kullanılan ve Dünya süt ve süt ürünleri sektörünün en önemli yan ürünlerinden peynir altı suyunun yıllık üretimi 200 milyon ton civarındadır. Buradan üretilen süt şekeri galaktozun (laktozun parçalanma ürünü) ticari D-Tagatoza dönüştürülmesi, gıda sektörü için önemli bir çıkış yolu olarak görülmektedir. Sağlıklı ve doğal beslenme açısından getireceği faydaların dışında Dünya yapay tatlandırıcı pazarı büyüklüğünün 3.2 milyar dolar olduğu gerçeği de göz önüne alınırsa D-tagatozun, alternatif tatlandırıcı ve prebiyotik sektörleri için itici bir güç olacağını ifade etmek hatalı olmayacaktır. Ayrıca, son çalışmalar, D-Tagatozun tarım sektöründe bitki hastalıkları ile mücadelede antifungal agrokimyasal olarak kullanılabileceğini de göstermektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada, D-tagatozun gıda mühendisliği ve beslenme bilimleri açısından yeri, önemi ve potansiyel uygulama alanlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Gıda, Beslenme, D-Tagatoz.

## D-Tagatose in Food and Nutrition

### Abstract

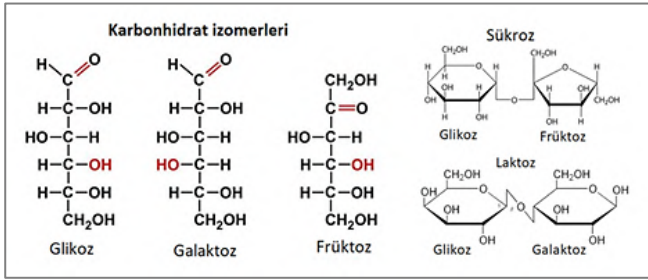
Tagatose is a naturally occurring six-carbon monosaccharide (ketohehexose), which is generally found in dairy products. It was first proposed by Gilbert Levin, and has a similar texture to sucrose with a lower calorific value. D-Tagatose (D-tag) has recognized as safe status by FAO and WHO since 2001, and therefore gained significant attention in the recent years as an alternative sweetener for some health issues linked to excess sugar consumption, including obesity, diabete, oral (tooth) health and gastrointestinal symptoms. On the basis of this interest, it has some advantageous characteristics, compared to sucrose, like lower metabolic activity, slow and incomplete absorption in the small intestine, low fermentability in the colon by microflora, antihiperglisemic, prebiotic promoting gut health, and easy-excretion from body via urine. Furthermore, the researches demonstrates that D-Tagatose has no genotoxic effect. D-Tagatose, an antidiabetic with low glycemic index, can also be obtained from the enzymatic or alkali isomerization of the milk sugars, galactose in high quantities commercially, other than natural sources. The whey is a by-product of the global milk and dairy sector with an annual production quantity of 200 million tonnes, and considered a potential raw-source for manufacturing tagatose. The conversion of milk sugar, galactose, into commercial D-tagatose therefore offers a way-out for the food industry. Except for its healthy and natural nutritional benefits, based on the fact that the global market of artificial sweeteners around 3.2 billion dollars, D-tagatose can play a pivotal role as a driving force for alternative sweeteners and prebiotic sector. In addition to that, the recent studies have indicated that D-tagatose can also be utilized as an agro-chemical to control fungal plant diseases in the agro-sector. Overall, the objective of this study was to evaluate the role, value and potential areas of application in both food engineering and nutritional sciences.

**Keywords:** Food, Nutrition, D-Tagatose.

\* Sorumlu Yazar: [hasan.yetim@izu.edu.tr](mailto:hasan.yetim@izu.edu.tr)

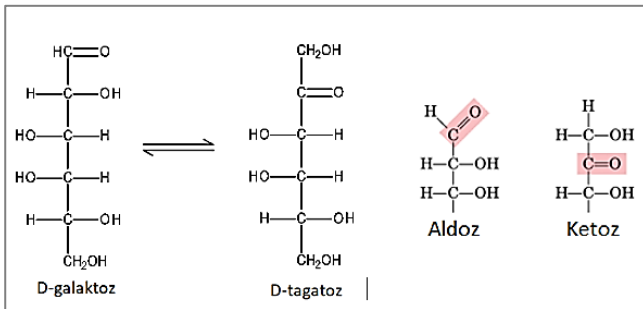
## 1. Giriş

Şeker, bitkisel ve bazı hayvansal ürünlerde doğal olarak bulunan tüm monosakkarit ve disakkaritlerin genel adıdır. Bunlar, bitkilerde bulunan sükröz, glikoz ve früktoz ile süt ürünlerinde bulunan laktoz ve balda doğal olarak bulunan diğer karbonhidratlardır. Meyve-sebzeler başta olmak üzere tüm yeşil bitkiler, güneş ışığını enerjiye dönüştüren doğal bir süreçle yani fotosentez yoluyla şeker üretirler. Tüm bitkilerde bulunan glikoz ve früktoz yine bitki tarafından sükröze dönüştürülür ve bunlar, canlılar için besin enerjisinin temelini oluştururlar (Altunışık, 2010). Ana besin gurubuna ait karbonhidratlar içerisinde yer alan şekerler, doğada mono ve disakkarit formunda yaygın olarak bulunurlar. Monosakkaritlerin en yaygın formlarından heksozların önde gelen üyeleri ise glikoz, früktoz ve galaktozdur. Bunlar sahip oldukları aldehit veya keton gurubuna göre aldoz veya ketoz şekerler olarak da adlandırılmaktadırlar. İki monosakkaridin yani iki heksozun bir araya gelmesiyle oluşan disakkarit formundaki doğal karbonhidratlar ise sakkaroz (sükröz), maltoz ve laktozdur. Doğada bulunan mono ve disakkarit formundaki bazı önemli şekerlerin açık formülleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Doğada bulunan bazı mono ve disakkaritlerin açık formülleri (Altunışık, 2010)

D-Tagatoz (D-tag), D-galaktozun izomeri olan doğal ve nadir bulunan bir ketoheksoz şekerdir. Siklik formu, %79  $\alpha$ -D-tagato-2,6-piranoz, %14  $\beta$ -D-tagato-2,6-piranoz, %2  $\alpha$ -D-tagato-2,5-furanoz ve %5  $\beta$ -D-tagato-2,6-furanoz içerir (Oh, 2007). D-tag, tatlılık derecesi sükrözden %90 daha yüksek olan früktozun da bir izomeridir ve tatlılık derecesi %92 sükröze eşdeğerdir. D-tagatozun %10'luk sulu çözeltisinin ağızda soğuma etkisi düşüktür ve net fizyolojik kalori değeri ise 0.12 kkal/g'dır. Doğal bir ketoheksoz şeker olan früktozun alternatifi daha düşük kalorili bir monosakkarit olan D-tag, halen çeşitli meşrubat türü içecekler, yoğurt, krema ve diyabetik şekerli ürünlerde tatlandırıcı olarak kullanılmaktadır (Guerrero-Wyss vd., 2018). D-tag adı verilen bu galaktoz izomerinin açık formülü, Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. D-galaktoz ve D-tagatozun açık formülleri (Khuwijtjaru vd., 2018)

Bu çalışmada, D-tagatozun gıda mühendisliği ve beslenme bilimleri açısından yeri, önemi ve potansiyel uygulama alanlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Özellikleri

Bugün düşük kalorisi yanında antidiyabetik etkisi de olduğu kabul edilen D-Tagatozun ticari olarak yüksek miktarlarda üretimi, süt şekerinden elde edilen galaktozun enzimatik ya da alkali izomerizasyonu ile sağlanmaktadır. Bilindiği üzere süt ürünleri sektörünün peynir üretimi faaliyetleri sonucu yan ürün olarak önemli miktarlarda peynir altı suyu ortaya çıkmaktadır. Peynir altı suyu ise laktozca son derece zengin bir yan üründür. Bu sebeple, ortaya çıkan bu yan ürünün insan ve hayvan beslenmesi için tüketilebilir ürünlere dönüştürülmesi, gıda sektörünün eskiden beri bilinen önemli problemleri arasında sayılmaktadır (Yetim vd. 2001). Bu noktadan hareketle, uzmanlar peynir altı suyundaki D-galaktozu, düşük kalorili D-tag'a izomerizasyon yöntemi ile dönüştürmeyi başarmışlardır (İbrahim, 2018). D-Tag, bir gıda ingrediyesi olarak Avustralya, Yeni Zelanda, Brezilya, Kore, Japonya ve Avrupa Birliği (AB) tarafından güvenli kabul edilmektedir. D-tag'ın prebiyotik, antioksidan ve ağız sağlığı dostu olmak gibi farklı sağlık ve tıbbi faydaları bulunmaktadır. Düşük kalori değeri ise D-tag'ı diyabet hastaları için güvenli bir tatlandırıcı kılmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), dünyada 346 milyon kişinin diyabetik olduğunu ve bu sayının %90'ına ise tip-2 diyabet teşhisi konulduğunu bildirmektedir. Bu sebeple, D-tag, tip-2 diyabet ve obezite ile mücadelede yeni bir doğal ilaç gibi kullanılmak üzere araştırmacıların ilgisini çekmektedir (Wanarska ve Kur, 2012). Beslenme preparatı olarak D-tag'ın dünyada yeni bir pazar payı yaratacağı net şekilde görülmektedir. Kendine özgü fiziko-kimyasal özellikleri ve şeker alternatifi poliyol pazarı ile rekabet edebilme kabiliyeti artan ilginin başlıca sebepleri arasındadır. D-tag'ın henüz yüksek olan ticari satış fiyatının emsali ürünlerden sorbitol (1.2 dolar/kg) ve poliyol'ün (3-7 dolar/kg) birim fiyatlarına çok yakın bir değere ulaşacağı beklenmektedir. D-tag'ın birim fiyatın muadili rakip tatlandırıcılara karşı hedeflenen seviyeye ulaşabilmesi için yeterli hammadde, işletme büyüklüğü, proses optimizasyonu ve yüksek verimli biyolojik çözüm gibi bazı problemlerin aşılması gerekmektedir (Jayamuthunagai vd., 2018).

Tablo 1. D-tag fiziko-kimyasal özellikleri (Jayamuthunagai vd., 2018)

Genel adı	Tagatoz
Anlamdaşları	D-Tagatoz, a-D-Tagatoz, D-likso-heksuloz
Molekül Formülü	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>
CAS numarası	87-81-0
Sınıfı	Karbonhidrat monosakkarit ketoheksoz
Yapısı	3 kiral karbonlu; C-4 epimer D-früktoz
Molekül Ağırlığı	180
Fiziki görünümü	Anhidroz kristal katı
Renk	Beyaz
Koku	Kokusuz
Tat	Yoğun tatlı
Suda çözünürlük	160 g/100 ml H <sub>2</sub> O, 20 °C
Etanolde çözünürlük	0.02 g/100 ml H <sub>2</sub> O, 22 °C
Erime noktası	134 °C
Çözünürlük Isısı	42.3 kJ/kg, 20 °C
Bozulma sıcaklığı	120 °C
pH stabilitesi	2-7
Göreceli tatlılık derecesi	%92 sükröz eşdeğeri



Tatlılık	Sükroz benzeri; ancak, früktoz gibi daha hızlı algılanır
Emilim oranı	%25
Rölatif enerji değeri	13 kalori sükroz eşdeğeri
Kalori değeri	0.12 kkal/g
Kanserojenlik	Bildirilmemiş
Lezzet geliştiricilik özelliği	Yoğun tatlılık ile birlikte lezzetlendirici özellikli
Nemlendiricilik	Sorbitol benzeri
Karamel oluşumu	Evet, yüksek sıcaklıkta kahverengimsi sükroza dönüşür

### 3. Uygulama Alanları

Şeker üretimi kavramı, endüstriyel boyutta başlangıcı olan 17.yüzyıldan günümüze kadar üretimi, tüketimi ve uygulama alanları bakımından dikkat çekici ilerleme gösteren alanlardan birisi olmuştur. Şekerlerle ilgili bilimsel araştırmalar günümüzde de devam etmektedir ve örneğin, nadir (rare) şekerlerin bireylerde farklı algılama yollarını harekete geçirdiği ve vücutta yeni (novel) fizyolojik işlevleri ortaya çıkardığı bulunmuştur. Uluslararası Nadir Şekerler Topluluğu (ISRS) tarafından yapılan tüm heksozları ve pentozları içeren sınıflandırmaya göre, 20 adet heksoz ve 9 adet pentoz olmak üzere toplam 29 adet nadir şeker tanımlanmış ve bunların geniş uygulama potansiyellerinin bulunduğu rapor edilmiştir (Kawamura, 2004; Jayamuthunagai vd., 2018). Buradan hareketle D-tag'ın gıda ürünlerinde kullanımı ve uygulamalarına ilişkin örnekler Tablo 2'de gösterilmiştir.

Nadir şekerlerin üretimi, fermantasyon teknolojisi, moleküler biyoloji, enzim teknolojisi ve organik kimya kullanımı gibi çok disiplinli yaklaşımlar gerektirir. İlk defa Spherix firması tarafından 1990'lı yıllarda sentezlenen D-tag, düşük kalorili tatlandırıcı olma özelliği ile tanındı. Tagatozun sükrozdan fazla ayırt edilemeyen tadı, bu nadir şekerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin anlaşılması bakımından araştırmacıların artan ilgisini çekmeyi başarmıştır (Levin, 2002; Jayamuthunagai vd., 2018).

Nadir şekerlerin üretimi, fermantasyon teknolojisi, moleküler biyoloji, enzim teknolojisi ve organik kimya kullanımı gibi çok disiplinli yaklaşımlar gerektirir. İlk defa Spherix firması tarafından 1990'lı yıllarda sentezlenen D-tag, düşük kalorili tatlandırıcı olma özelliği ile tanındı. Tagatozun sükrozdan fazla ayırt edilemeyen tadı, bu nadir şekerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin anlaşılması bakımından araştırmacıların artan ilgisini çekmeyi başarmıştır (Levin, 2002; Jayamuthunagai vd., 2018).

Tablo 2. D-tag'ın gıda ürünlerinde kullanımı ve uygulamaları (Jayamuthunagai vd., 2018).

Gıda ürünü	Konsantrasyonu (Takriben)
Çedar peyniri	2 mg/kg
Ciklet	%60 (w/w)
Çikolata	%15 (w/w)
Şekerleme	%15 (w/w)
Diyet içecekleri	%1 (w/w)
Diyet takviyeleri	%90 (w/w)
Feta peyniri	17 mg/kg
Frosting tatlı	%15 (w/w)
Norveç Gjetost peyniri	15 mg/kg
Dondurma	%3 (w/w)
Laksatifler	6500 mg/kg

Ambalajlı kahvaltılık gevrekler	%15 (w/w)
Parmesan peyniri	10 mg/kg
İnek sütü tozu	800 mg/kg
Rokfor peyniri	20 mg/kg
Pastörize/UHT inek sütü	2-3000 mg/kg
Yoğurt	29 mg/kg

D-tag henüz geniş bir endüstriyel uygulama alanına sahip olmamasına rağmen diğer bazı şekerler (sükroz, glikoz ve früktoz) gibi düşük kalorili tatlandırıcı ve besleyici madde olarak gıda ürünlerinin ekserisinde, içeceklerde, diyet takviyelerinde ve hatta çürük önleyici diş macunu (noncariogenic) ve ağız solüsyonlarının üretiminde kullanıldığı bildirilmektedir (Oh, 2007). Ayrıca, D-tag yüksek tatlılık derecesi, düşük kalorisi, düşük glisemik indeksi ve gıda formülasyonları bakımından istenen fiziko-kimyasal özellikleri (hacim artırıcı, tekstür geliştirici, nemlendiricilik ve stabilizatör) ile gelecek vaat eden bir bileşiktir. D-tag'ın diğer avantajlı özelliklerinden birisi de prebiyotik işlevine sahip oluşudur. Özellikle kalın bağırsakta fermente olabilmeye kabiliyeti, intestinal epitelyal hücreler için önemli metil bütiratın yüksek konsantrasyonlarda üretilmesini olanaklı kılmakta ve bu yolla kolon kanserine karşı koruyuculuk sağlamaktadır (Roy vd., 2018).

Laktoz türevi maddeler arasında D-tag, gıda endüstrisinde bugün fazla miktarda kullanım potansiyeline sahip maddelerden birisidir. Tatlılık derecesi bakımından sükroza olan yakınlığı (%92), soğuma etkisinin olmaması, güçlü aromatik yansıması ve stevyadan farklı olarak tat algısının uzun süreli veya kalıcı olmaması D-tag'ın üstün avantajları arasında sayılmaktadır (Guerrero-Wyss vd., 2018).

D-tag'ın kimyasal özellikleri, mükemmel biyolojik toleransı ile birleştiğinde, araştırmacıların ve ticari kuruluşların ilgisini neden bu derece çektiğini açıklamaktadır. Yine D-tag bir indirgen şekerdir. Bu yönüyle Maillard reaksiyonunda aktivitesi son derece yüksek olup, unlu mamullerin ısı işlem esnasında non-enzimatik esmerleşmesinde önemli rol oynar. Bunun neticesi olarak da D-tag, şekerleme endüstrisinde ayırt edici ve baskın karamel ve/veya malt aromaları yaratmak amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca, yoğurt ve meşrubat türü yumuşak içeceklerde, mükemmel çözünürlüğü sayesinde (%58 w/w, 21 °C) aspartam, asesülfam potasyum, sakkarin ve sükraloz gibi yüksek yoğunluklu tatlandırıcı karışımlarında tat etkisini geliştirir. Formülasyona %0.2 ila %1 seviyesinde ilave edildiği takdirde, ağızda kalan tadı iyileştirmekte, ilave tatlandırıcılardan kaynaklanan tat algısını ve kalıcı tat hissini de azaltmaktadır. Diğer taraftan, özellikle yoğurt ürünlerinde D-tag ve probiyotik etkileşiminin ileri mikrobiyolojik ve biyokimyasal araştırmalar ile daha fazla değerlendirilmesi gerektiği bildirilmektedir (Torricco vd., 2019).

Diyabetik tat olarak bilinen tatlandırıcıların (örneğin asesülfam potasyum) yavaş ancak uzun süren metalik veya acımsı tadı, D-tag ile etkili şekilde maskelenebilir. Bu durum, yumuşak içeceklerin aspartam ve diğer tatlandırıcıların degrade olmalarından kaynaklanan raf ömrünün duyuusal kıstaslar bakımından uzamasına olanak verir (Ensor vd., 2015). D-tag, laktoz veya maltodekstrozdaki farklı olarak, düşük kalorisi ile yoğun tatlı (şekerli) içeceklerde ağız ve diş sağlığını koruyacak şekilde kullanılabilir. Ancak, bugün D-tag'ın birim fiyatının 8.8-13.2 dolar/kg aralığında olması, düşük kalorili gıdalarda kullanımını maliyet dezavantajı sebebiyle önemli derecede engellemektedir. Generally recognized as safe (GRAS) statüsüne rağmen Gıda Katkı Maddelerine ilişkin Ortak FAO-WHO Uzman Komitesi Raporu (JECFA) ve Gıda Bilimsel Komitesi (SCF), D-

tag'in kullanılabilmesi için gıda ürünlerini ve müsaade edilen kullanım sınırlarını, karbonatlı içeceklerde %1, unlu mamullerde %2, sert şekerlemeler ve kahvaltılık gevreklerde %15, çikolata %25 ve çiklette %60 olarak belirlemiştir. Diğer taraftan D-tag, süt ürünlerine prebiyotik özellik taşıdığı için eklenmektedir. Günlük alım miktarı sadece birkaç gram (3-5 g/porsiyon) olup, formüle % 0.2-1 oranında eklendiğinde diyet meyveli yoğurt ürünlerinin tadını olumlu yönde arttırmaktadır. D-tag'ın 2009 yılı üretim miktarı 900 ton ve pazar değeri 1.3 milyar dolardır (Paterson ve Kellam, 2009), bunu dışında alanyazında daha güncel bir veriye rastlanmamıştır.

Küresel toplam tatlandırıcı pazarının 2015 yılından sonra 20 ila 30 bin ton arası üretim miktarına ve 37.5 milyar dolar büyüklüğüne ulaşacağı ve bu pazarın 2024 yılı itibariyle toplam 82.6 milyar dolara kadar çıkacağı öngörülmektedir (transparencymarketresearch.com). Pazarın baskın tatlandırıcısı ise 2018 yılı verilerine göre %77.2 oranı ile sükrözür. Düşük kalorili tatlandırıcılar içeren ve glikemik indeksi düşük yiyecek ve içecek tüketimi, tüm dünyada 2016 yılı itibariyle 9 milyar dolardan fazla gerçekleşmiştir. Küresel ölçekte en önde gelen D-tag üreticileri sırasıyla: Nunaturals, Damhert Nutrition, ChromaDex, CJ Cheiljedang Corporation, Sigma-Aldrich Co. LLC ve Alfa Aesar firmalarıdır (Sokolowska vd., 2021).

Ayrıca, son çalışmalar, D-Tagatozun tarım sektöründe bitki hastalıkları ile mücadelede antifungal agrokimyasal olarak kullanılabilmesini de göstermektedir. D-tag, bitkilerde bazı fitopatojenlerin gelişimini baskılamaktadır. Bu sebeple, özellikle domates, patates ve patlıcanda *Phytophthora infestans*, salatalıkta *Pseudoperonospora cubensis*, üzümde *Plasmopara viticola*, buğdayda *Puccinia recondita* ve pirinçte ise *Pythium graminicola* ve *Pythium aphanidermatum* ile mücadelede son derece etkili çözümler sunabilmektedir (Chaded vd., 2020).

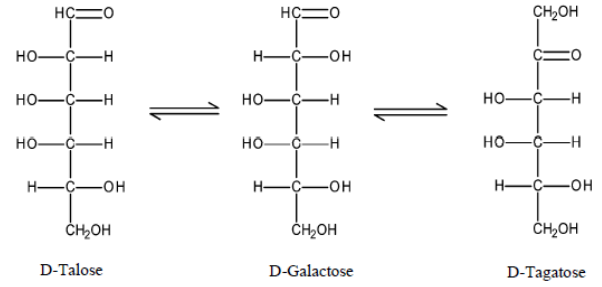
## 4. Üretim Süreçleri

D-tag, bitkisel veya hayvansal kaynaklarda doğal olarak çok az veya yeteri kadar bulunmadığı için laktoz kökenli galaktozun izomerizasyonu ile kimyasal ya da enzimatik yöntemlerle üretilmektedir. Elbette her iki yönteminde bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. D-tag üretimi için gerekli olan ön madde galaktozdur ve bunun da doğada en çok bulunduğu kaynak süt şekeri, laktozdur. Tagatoz üretimi amacıyla kullanılan ve Dünya süt ve süt ürünleri sektörünün en önemli yan ürünlerinden peynir altı suyunun yıllık üretimi 200 milyon ton civarındadır. Buradan üretilen süt şekeri galaktozun (laktozun parçalanma ürünü) ticari D-Tagatoza dönüştürülmesi, gıda sektörü için önemli bir çıkış yolu olarak görülmektedir.

### 4.1. Kimyasal Süreç

Tagatoz üretiminde laktoz, önce hidroliz yoluyla glikoz ve galaktoza ayrıştırılmaktadır. Daha sonra galaktoz da alkali koşullar altında enolizasyon reaksiyonuna (bir ketonun bir enol haline dönüştürülmesi işlemi) tabi tutulmakta ve kalsiyum hidroksit (CaOH) yardımıyla izomerleştirilerek D-tagatoz elde edilmektedir. Ham şeker ve kimyasal gıda katkıları bir reaksiyon kazanında karıştırılmakta ve dönüşüm reaksiyonunun gerçekleşmesi için yüksek sıcaklıkla muamele edilmektedir. Reaksiyonun bitiminde de oluşan üründeki tuzlar giderildikten sonra kromatografik yöntemle hedef ürün ayrıştırılmaktadır. Son ürün konsantre şurup (syrup) ya da kristallendirme ile katı formda da üretilmektedir (Yılmaz-ersan vd., 2016; Shintani, 2019; Sokolowska vd., 2021). D-galaktozun alkali çözeltide D-tagatoz

ve D-taloza izomerizasyonu Şekil 3'de şematize edilerek gösterilmektedir.



Şekil 3. D-galaktozun alkali çözeltide D-tagatoz ve D-taloza izomerizasyonu (Khuwiji et al., 2018)

### 4.2. Kimyasal Süreç

D-tag'ın enzimatik olarak üretiminde ise kimyasal yöntemden farklı olarak, genellikle Thermotoga türü mikroorganizmalardan elde edilen enzimler (Polyol dehidrogenaz, L-Arabinoz izomeraz, D-Galaktoz izomeraz vb.) kullanılır. Bu enzimler, galaktitol, früktoz veya D-galaktozu, D-tagatoz'a katalize ederek substratın (ön madde, örneğin D-galaktoz) hedef bileşene (D-tagatoz) dönüşümünü sağlamaktadırlar (Shintani, 2019).

D-tag'ın enzimatik yöntemlerle üretilmesi kullanılan substrat ve enzim türü ile gerçekleşen reaksiyon mekanizmasına göre değişiklikler gösterebilmektedir. Örneğin, substrat olarak galaktoz kullanılması durumunda, L-Arabinoz izomeraz veya D-Galaktoz izomeraz enzimleri katalizör olarak kullanılır ve bunlar da farklı verim ve reaksiyon süreleri gerektirmektedir. Eğer substrat früktoz seçilirse, bir dizi enzimatik reaksiyon ile aşamalı olarak D-tag elde edilmektedir. Galaktitolden D-tag sentezi de yine kendine özgü farklı verim-reaksiyon süre gereksinimine sahiptir. D-tag'ın enzimatik üretiminde kullanılan substratlar, kullanılan enzimler ve reaksiyonları ile elde edilen farklı verim ve reaksiyon süreleri Tablo 3'de sunulmuştur (Khuwiji et al., 2018; İbrahim, 2018). Verilere göre, D-tag'ın üç farklı substrattan üretilmesi mümkün olup, verimlilik ve reaksiyon süresi açısından ise früktoz ve galaktitol çevrimlerinin daha başarılı oldukları anlaşılmaktadır (Tablo 3). Enzimatik işlemler sonucu ortaya çıkan yeni ürün ayrıştırılarak saflaştırılmakta ve ambalajlanarak satışa hazır hale gelmektedir.

Tablo 3. D-tag üretiminde kullanılan substratlar, enzimler, reaksiyonlar ve verim-süre bulguları (Khuwiji et al., 2018)

Substrat	Enzim/Reaksiyon	Verim (Reaksiyon süresi)
Galaktoz	L-Arabinoz izomeraz	%16.2 (48 saat)
	D-Galaktoz izomeraz	%22.3 (14 saat)
Früktoz	(1) Früktozun früktoz-6-fosfata heksokinaz enzimi ile fosforilasyonu,	%79.7 (48 saat)
	(2) Früktoz-6-fosfatın tagatoz-6-fosfata früktoz-1,6-bifosfat aldolaz enzimi ile epimerizasyonu ve (3) tagatoz-6-fosfatın tagatoza fitaz enzimi ile defosforilasyonu	%96.3 (16 saat)
	Heksuronat C-4-epimeraz	%30 (3 saat)
Galaktitol	Polyol dehidrogenaz	%91 (15 saat)

## 5. Metabolizması

İnsan vücudu; ihtiyaca ve mevcuda göre şeker, yağ veya protein yakar, öncelikle şekeri tercih eder ancak hangisinin yolağı o anda etkinse diğeri askıya alınır. Karbonhidrat metabolizmasında öncelikle glikoz kullanılır ve bu şeker, organizmanın en önemli enerji kaynağıdır. Ayrıca vücuda alınan ve hücre içerisine giren glikozun tamamı hemen enerji için kullanılabilir ya da depolanır. Oral yoldan alınan D-tag'ın ise yalnızca %20'si, özellikle karaciğerde, metabolize olabilmektedir. Deney hayvanları ve pre-klinik araştırmalara göre, D-tag glikoz seviyesini de düşürmektedir. Zaten D-tag bu yönüyle bilim dünyasının dikkatini çekmiştir. Gözlemlerde ulaşılan sonuç, glikoz seviyesini düşürme mekanizmasının, D-tag'ın karbonhidrat emilimini intestinal disakkaritler ile glikozun taşınmasını baskılayarak müdahale ettiği yönündedir. D-tag aynı zamanda hepatik glikojenolizi de baskılamaktadır. İlaveten, şükroz ile mukayese edildiğinde, D-tag toplam kolesterol, VLDL ve LDL'yi azaltma, HDL'yi ise artırma yönünde bir etki de göstermektedir (Guerrero-Wyss vd., 2018).

Tagatoz'un kolesterol düşürücü etki mekanizmasının glikoliz kaynaklı pruvat oluşumunu ya da kolesterol ve yağ asiti biyosentez prekürzörü de olan Krepş döngüsü içindeki asetil-CoA'yı azaltarak yaptığı düşünülmektedir (Muddada, 2012). Ayrıca, Muddada (2012), D-tag'ın früktozun gut tarafından emilimini bloke ettiğini ve bu suretle de diyet kaynaklı dislipidemiye etkili biçimde düşürdüğünü bildirmektedir. Bu sebeple, D-tag'ın diyet yönetimi açısından obezite ile mücadelede çok önemli bir rol oynayacağı öngörülmektedir. Çünkü ince bağırsakta früktozu aktaran taşıyıcılar, D-tag için afinite göstermemekte, tüketilen D-tag'ın yalnızca %20'si ince bağırsakta emilmekte ve devamında karaciğerde früktozdan çok daha yavaş bir hızla metabolize edilmektedir.

Sindirilmemiş D-tag ise diğer sindirimi düşük karbonhidratlarda olduğu gibi (diyet lifi vb.), kalın bağırsakta mikroflora tarafından fermente edilebilmektedir. Fermantasyon neticesinde ortamda kısa zincirli yağ asitleri (SCFA) ve özellikle de bütirat, üretilmektedir. Bütirat, kolon kanserini önlemede rol oynayan önemli mikrobiyal metabolitler arasındadır (Wu vd., 2010). Ayrıca, D-tag, ince bağırsakta şükraz ve maltaz enzimlerini de baskıladığı için şükroz ve maltozun sindirim ve emilimini de sınırlamaktadır (Buemann vd., 2000; Sokołowska vd., 2021). Bu mekanizma da yine obezite ile mücadelede rol oynayabilecek önemli bir araç olacaktır.

## 6. Toksitesi

D-tag, insanlar tarafından vücutta sentezlenemeyen, doğada nadir bulunan ve düşük glisemik indeks değerine sahip bir şekerdir. Araştırmalar, D-tag'ın glikoz metabolizmasını regüle edebildiğini ve bu sayede özellikle diyabetik hastalarda glikoz homeostazını koruduğunu göstermektedir. Bu durum, insülin yanıtının da iyileşeceğini ve sonuç olarak ise hipergliseminin daha etkin ve daha iyi kontrol edileceğinin göstergesidir. D-tag'ın toksik etkileri ile ilgili literatürde henüz bir çalışma rapor edilmemiştir. Yalnızca, eksik emilim kaynaklı olarak ortaya çıkan ve orta düzeyde bazı sindirim sorunlarına (mide bulantısı, gaz, şişkinlik, diyare gibi) yol açabileceği bildirilmiştir (Sokołowska vd., 2021).

## 7. Sonuç

Süt şekeri laktozdan üretilen galaktozun ticari D-tag'a farklı süreçlerle dönüştürülmesi, gıda endüstrisi bakımından potansiyel fırsatlar sunmakta ve süt endüstrisi için adeta çıkış yolu gibi gözükmektedir. Araştırmalar, D-tag'ın diğer yapay tatlandırıcılara göre daha üstün fiziko-kimyasal özellikleri ile bazı metabolik avantajlarının olduğunu göstermektedir. Şöyle ki D-tag, gıda endüstrisi ve sağlık sektörü için diğer şekerler ve alternatif tatlandırıcılara göre, yeni fırsatlar sunmaktadır. Çünkü D-tagatoz, son yıllarda şeker tüketimine bağlı olarak artan obezite, diyabet, ağız-diş sağlığı ve sindirim sistemi sorunlarına karşı alternatif bir tatlandırıcı olarak öne çıkmaktadır. Sağlıklı ve doğal beslenme açısından getireceği faydaların dışında Dünya yapay tatlandırıcı pazarının ciro büyüklüğü de dikkate alındığında D-tag'ın, alternatif tatlandırıcı ve prebiyotik sektörleri için itici bir güç olacağını ifade etmek pek hatalı olmayacaktır. Özetle, D-tag'ın çok disiplinli olarak farklı özelliklerinin araştırılması ve gözlenen faydalarından hedef kitlelerin istifade edebilmesi için çok daha ileri düzeyde çalışmalara gerek olduğu değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, D-tag'ın gıda ve sağlık sektörüne getirebileceği avantajların ülkemizde de bilinmesi/tanınması çok önemli fırsatları beraberinde getirecek ve özellikle süt sanayinin potansiyel sorunlarının çözümüne katkı sunacaktır.

## Kaynakça

- Altınışık, M. (2010). Karbonhidrat metabolizması bozukluklarına biyokimyasal yaklaşım. ADÜ Tıp Fakültesi Dergisi, 11(1), 51-59.
- Buemann, B., Toubro, S., Raben, A., Blundell, J. and Astrup, A. (2000). The acute effect of D-tagatose on food intake in human subjects. British Journal of Nutrition, 84 (2), 227-231.
- Chahed, A., Nesler, A., Navazio, L., Baldan, B., Busato, I., Ait Barka, E., . . . and Perazzolli, M. (2020). The Rare Sugar Tagatose Differentially Inhibits the Growth of Phytophthora infestans and Phytophthora cinnamomi by Interfering With Mitochondrial Processes. Frontiers in Microbiology, 11, Article 128.
- Ensor, M., Banfield, A. B., Smith, R. R., Williams, J. and Lodder, R. A. (2015). Safety and Efficacy of D-Tagatose in Glycemic Control in Subjects with Type 2 Diabetes. Journal of endocrinology, diabetes & obesity, 3 (1), 1065.
- Guerrero-Wyss, M., Durán Agüero, S. and Angarita Dávila, L. (2018). D-Tagatose Is a Promising Sweetener to Control Glycaemia: A New Functional Food. BioMed Research International, 2018, 1-7.
- Ibrahim, O. (2018). A New Low Calorie Sweetener D-Tagatose from Lactose in Cheese Whey as a Nutraceutical Value-Added Product. Food Health and Technology Innovations, 1 (1), 11-28.
- Jayamuthunagai, J., Gautam, P., Srisowmeya, G. and Chakravarthy, M. (2017). Biocatalytic production of D-tagatose: A potential rare sugar with versatile applications. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57 (16), 3430-3437.
- Kawamura, Y. (2004). D-Tagatose Chemical and Technical Assessment (CTA), FAO.
- Khuwijiitjaru, P., Milasing, N. and Adachi, S. (2018). Production of D-tagatose: a review with emphasis on subcritical fluid treatment. Science, Engineering and Health Studies, 12 (3), 159-167.

- Levin G. V. (2002). Tagatose, the new GRAS sweetener and health product. *Journal of medicinal food*, 5 (1), 23–36.
- Muddada, S. (2012). Tagatose: the multifunctional food ingredient and potential drug. *Journal of Pharmacy Research*, 5 (1), 626–631.
- Oh, D. K. (2007). Tagatose: properties, applications, and biotechnological processes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 76 (1), 1–8.
- Paterson, A. and Kellam, S. (2009). Transformation of lactose for value-added ingredients. *Dairy-Derived Ingredients, Vol? 625–643*.
- Roy, S., Chikkerur, J., Roy, S. C., Dhali, A., Kolte, A. P., Sridhar, M. and Samanta, A. K. (2018). Tagatose as a Potential Nutraceutical: Production, Properties, Biological Roles, and Applications. *Journal of Food Science*, 83 (11), 2699–2709.
- Shintani, T. (2019). Food Industrial Production of Monosaccharides Using Microbial, Enzymatic, and Chemical Methods. *Fermentation*, 5 (2), 47.
- Sokołowska, E., Sadowska, A., Sawicka, D., Kotulska-Bąblińska, I. and Car, H. (2021). A head-to-head comparison review of biological and toxicological studies of isomaltulose, d-tagatose, and trehalose on glycemic control. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Vol: 1–26.
- Taylor, S. L., Lambrecht, D. M. and Hefle, S. L. (2005). Tagatose and milk allergy. *Allergy*, 60 (3), 412–413.
- Torrico, Tam, Fuentes, Viejo and Dunshea. (2019). D-Tagatose as a Sucrose Substitute and Its Effect on the Physico-Chemical Properties and Acceptability of Strawberry-Flavored Yogurt. *Foods*, 8 (7), 256.
- Wanarska, M. and Kur, J. (2012). A method for the production of D-tagatose using a recombinant *Pichia pastoris* strain secreting  $\beta$ -D-galactosidase from *Arthrobacter chlorophenolicus* and a recombinant L-arabinose isomerase from *Arthrobacter* sp. 22c. *Microbial Cell Factories*, 11 (1), 113.
- Wu, T., Rayner, C. K., Jones, K. and Horowitz, M. (2010). Dietary Effects on Incretin Hormone Secretion. *Vitamins & Hormones*, 84 (C), 81–110.
- Yetim, H., Müller, W.D. and Eber, M. 2001. The Possibility of Using Fluid Whey in Comminuted Meat Products: effects on the technological, chemical and sensory properties of frankfurter type sausages. *Food Res. Int.* 34 (2/3): 97-101.
- Yılmaz-ersan, L., Özcan, T., Akpınar-bayizit, A. ve Delikanlı, B. (2016). Bifidojenik Faktör Olarak Laktoz Türevlerinin Önemi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30 (2), 79-90.





# A New Mass Customization Platform: Hyperledger Composer Use Case

Nursena Baygin<sup>1\*</sup>, Mehmet Karakose<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Kafkas University, Faculty of Engineering Architecture, Department of Computer Engineering, Kars, Turkey,  
(ORCID: 0000-0003-4457-5503), [nbaygin@kafkas.edu.tr](mailto:nbaygin@kafkas.edu.tr)

<sup>2</sup> Firat University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Elazığ, Turkey,  
(ORCID: 0000-0002-3276-3788), [mkarakose@firat.edu.tr](mailto:mkarakose@firat.edu.tr)

(First received 14 October 2021 and in final form 6 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009610)

**ATIF/REFERENCE:** Baygin, N. & Karakose, M. (2021). A New Mass Customization Platform: Hyperledger Composer Use Case. *European Journal of Science and Technology*, (31), 199-204.

## Abstract

Today, the use of mass customization applications has become inevitable with the increasing importance of customer demands and the proliferation of companies that respond to these demands. Although companies respond to customer demands and products are produced in line with these requests, there are not enough interactive platforms. Adequate connections with the actors and materials required in the process from the receipt of the product request to the production period cannot be provided. In models where customer-manufacturer integration cannot be achieved and demands are not met, the products cannot be sufficiently customized. In this proposed method, a platform is proposed that will bring together the actors in the production process and provide interaction. While establishing the platform, blockchain technology, which attracts attention with its reliable and traceable features, was used. Hyperledger Composer is a blockchain used for business networks and refers to the permissioned network type. With this technology, a collaborative, traceable and reliable platform where actors can transact together has been proposed. The furniture sector, which is one of the sectors where personal requests are increasing, is given as an example.

**Keywords:** Blockchain, Mass Customization, Consensus, Hyperledger Composer.

# Yeni Bir Kitlesele Özelleştirme Platformu: Hyperledger Composer Kullanım Örneği

## Öz

Günümüzde müşteri taleplerinin artan önemi ve bu taleplere cevap veren firmaların çoğalmasıyla birlikte kitlesele kişiselleştirme uygulamalarının kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Firmaların müşteri taleplerine cevap vermesine ve bu talepler doğrultusunda ürünler üretilmesine rağmen yeterince etkileşimli platform bulunmamaktadır. Ürün talebinin alınmasından üretim sürecine kadar olan süreçte gerekli olan aktörler ve malzemeler ile yeterli bağlantılar sağlanamamaktadır. Müşteri-üretici entegrasyonunun sağlanamadığı ve taleplerin karşılanmadığı modellerde ürünler yeterince özelleştirilemez. Önerilen bu yöntemde, üretim sürecindeki aktörleri bir araya getirecek ve etkileşimi sağlayacak bir platform önerilmektedir. Platform kurulurken güvenilir ve izlenebilir özellikleriyle dikkat çeken blockchain teknolojisi kullanılmıştır. Hyperledger Composer, iş ağları için kullanılan bir blok zincir olup izin verilen ağ türünü ifade eder. Bu teknoloji ile aktörlerin birlikte işlem yapabileceği işbirlikçi, izlenebilir ve güvenilir bir platform önerilmiştir. Kişisel isteklerin arttığı sektörlerden biri olan mobilya sektörü örnek olarak verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Blok Zincir, Kitlesele Özelleştirme, Uzlaşma, Hyperledger Composer.

\* Corresponding Author: [nbaygin@kafkas.edu.tr](mailto:nbaygin@kafkas.edu.tr)

# 1. Introduction

With the developing technology, manufacturers are faced with an intense competition. It is seen that service-oriented business models can gain more space in the market. Reaching customer requests has become a critical problem for manufacturers in today's world where customer requests are extremely important. To this end, more than a third of the major manufacturers work on customer service (Neely 2008). Companies are looking for ways to move away from traditional production models and offer personalized designs. With this trend, which covers all sectors from the fashion industry to digital platforms, the customer-oriented and collaborative production model is becoming widespread. In the studies carried out, they realized that manufacturers have serious benefits for their performance in line with the importance they give to customer feedback and service during the product production phase (Zhang, Guo, and Zhao 2017). For this purpose, the concept of mass customization, which adopts the principle of acting in line with customer requests, has begun to be implemented in production models. With mass customization based on customer requests, companies have been able to meet high volumes of different product options in large markets in a short time (Leng et al. 2020; Qi et al. 2020).

Collaboration, consistency and traceability are critical for commercial agreements between companies. In a study conducted in the literature, it was concluded that countries trade more with partners with similar commercial arrangements (Hildegunn Kyvik Nordås 2016). For this reason, it will be beneficial for companies to have commercial relations with similar regulations on common platforms. Researchers have found that customers are able to produce more innovative and needs-oriented products than professional developers. However, it should not be forgotten that professional developers have an important role in maintaining the balance in product design (Kristensson and Magnusson 2010).

Companies should be able to balance traceability and cost while offering special products to customers. Existing production models have limitations against customer product change requests. Therefore, data sharing throughout the supply chain is critical. Blockchain facilitates access to information by providing customer-manufacturer integration. Thus, when it comes to product changes, customer demands can be met with the traceable technology offered by blockchain technology. Another contribution of the blockchain is that it ensures that customer information is secured so that secure trade can be ensured. It is prevented from sharing personal information without the customer's request (ALTAY TOPCU and SUMERLİ SARIGÜL 2020; DİKİLİTAŞ, TOKA, and SAYAR 2021).

Studies show that the success of mass customization depends on manufacturers' flexibility, modular production model, quick response ability and easy integration with technological developments (Inayatullah and Narain 2017). With the developing technology, competition between companies is increasing day by day. Customer-manufacturer traffic has become very important today, as the demand for products developed in line with customer demands has increased. Studies have concluded that manufacturers need to

develop both mass customization and product innovation capabilities while providing services. In addition, it is emphasized that investments should be made in lean and agile practices in service delivery (Qi et al. 2020). Consideration of customer feedback by product designers will contribute to product development.

In order to solve the problems in the market, there is a need for automatic systems that will strengthen the cooperation of the actors in the production sector. In addition, a common platform will be useful for product innovation and feedback. With this proposed study, we offer a secure, traceable, access-controlled and interoperable blockchain-based system. By monitoring and securing transactions between peers in a blockchain network, it has the ability to solve industry challenges. There is also an emphasis on collaboration with real-time data auditing verified by participants. Blockchain guarantees transparency, authenticity and auditability. Using these advantages of the blockchain, we propose a common platform that enables customer-manufacturer collaboration (Kumar and Chand 2021; Surjandari et al. 2021; Zhu et al. 2020)

The remainder of the article is organized as follows: Section 2 presents the theoretical background on the paper, section 3 details the proposed solution. In section 4, there is a discussion chapter of the article. The result of the article can be seen in section 5.

## 2. Theoretical Background

### 2.1. Mass Customization

Since the purpose of mass customization is to produce products in line with customer requests, the place of the customer in this production model is very important. In the study by Jessica and Sean, existing studies were synthesized and classified as mass customization from the consumer perspective. As shown in the Fig. 1, they divided the roles of customers into four main classes: assembler, inputter, designer and selector (Pallant, Sands, and Karpen 2020).

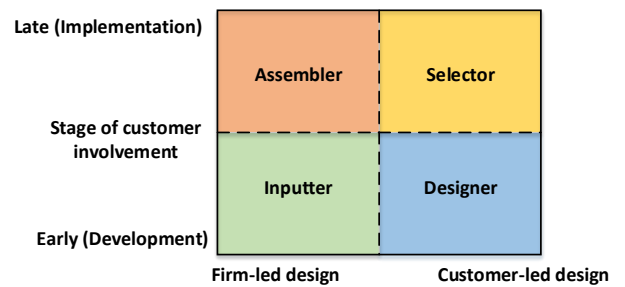


Figure 1. Mass customization strategies and customer customization (Pallant, Sands, and Karpen 2020)

In the production model where the customer contributes as the "assembler", the customer is only involved in the product application phase. For example, after IKEA customers purchase the products, they perform the assembly process at home. In the literature, the firm benefit of this model, why the customer is included, and the customer's psychological consequences have been examined (Huffman and Kahn 1998; Mills, Chase, and Margulies 1984). It is seen that the production models in which customers are included have a positive effect on customer psychology. Thus, contributions

are provided to companies as it increases the purchasing potential of customers (Homburg, Schwemmler, and Kuehnl 2015).

In the production model where the customers are "inputter", the customer is included in the product development process. For example, the interior architect can design the house with the data he receives from the customer in home decoration, and the design is realized in line with the customer's wishes. In this production model, the dialogue between the manufacturer and the customer continues actively until the end of the production process.

In the production model where the customer is the "designer", the customer is included in the product development process and the control of the product design is given. With the computer-aided Lego Digital Designer, various design products can be produced by including the imagination of the customer in the production process.

In the production model where the customer is in the "selector" role, the customer is given the right to configure. In this model, companies offer various options to the customer and produce products in line with customer choices (Pallant, Sands, and Karpen 2020). Studies have concluded that the products cannot be sufficiently customized in models where customer-manufacturer integration cannot be achieved and demands are not met (Ulrich, Anderson-Connell, and Wu 2003).

## 2.2. Hyperledger Composer

Hyperledger Composer is a toolkit supported by the Linux Foundation and used to develop blockchain applications. With this toolkit, it is ensured that transactions are executed according to the policy defined by the business network participants. It uses a simplified modeling language to implement business network and transaction logic. With Hyperledger Composer, assets and operations performed on these assets can be modeled. Applications can be simulated in the web browser. It also enables to create business network REST API and build a skeleton Angular application with Yeoman framework (Ho et al. 2021; Purohit et al. 2021; Typical Hyperledger Composer Solution Architecture n.d.). The Fig. 2 shows the architecture of Hyperledger Composer.

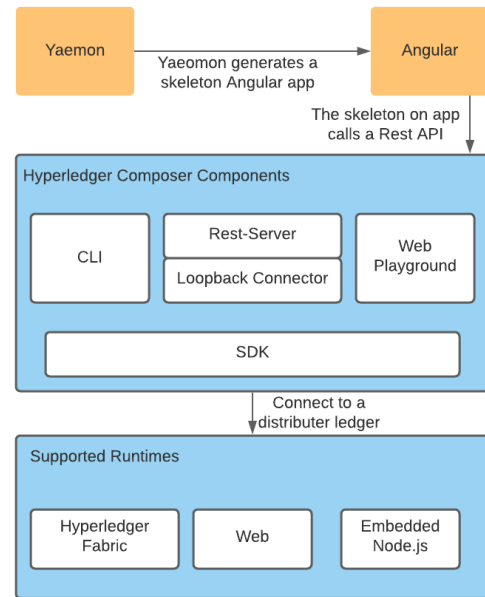


Figure 2. Hyperledger Composer solution architecture (Typical Hyperledger Composer Solution Architecture n.d.)

With its modular structure, Hyperledger Composer supports three different runtime implementations: Hyperledger Fabric, Playground and Node.js. The state is stored in the ledger in Hyperledger fabric, in the local browser with Playground, and in memory with Node.js (Typical Hyperledger Composer Solution Architecture n.d.).

## 3. Proposed Approach

### 3.1. Algorithm of Platform

As seen in the figure 3, first, the customer's parameters are created. These parameters contain information such as the user's name and address. Then, the user requests the product to be produced in line with his request. In the proposed platform, it is assumed that the customer requests furniture. After the product request, it is sent for service evaluation. In service evaluation, there are manufacturers, designers and suppliers. Information is collected whether the manufacturer will provide machine support, whether the designer's product is functional, and whether the supplier can provide raw materials. In case of support and approval, the product production process is started. If any user does not approve, the product will not enter the production process. The customer will be informed that the product will not be produced.

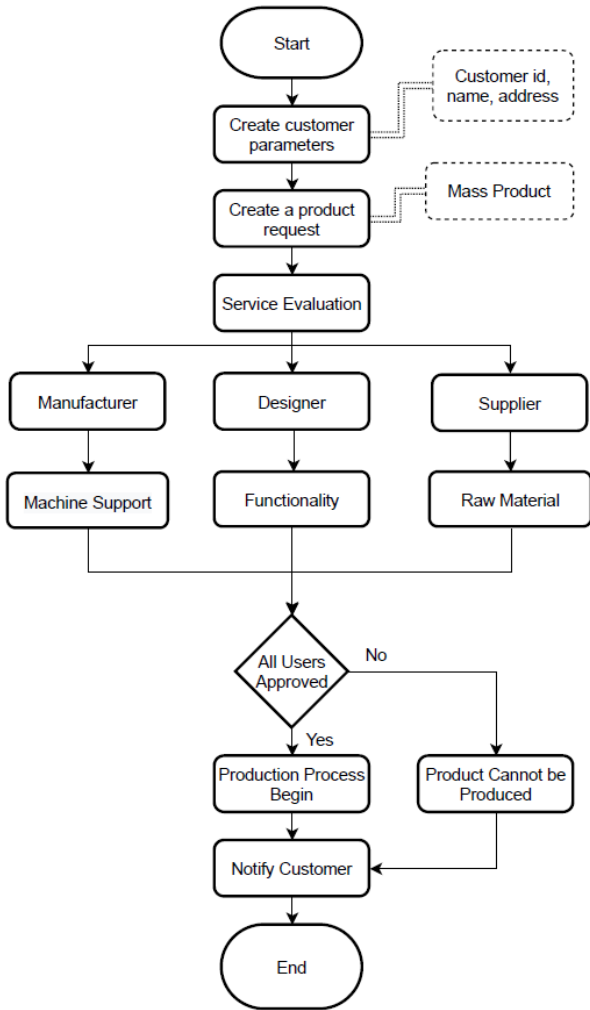


Figure 3. The algorithm of the proposed method

With this proposed method, customer-service provider communication is aimed. Customer requests received online are recorded. Thus, the product will be produced by communicating directly with the customer, not by taking the requests indirectly like the survey in the production sector. It is aimed that manufacturers make production in line with customer requests.

### 3.2. Components of Platform

In this part of the study, the Hyperledger Composer components that make up the platform are explained.

**Participants:** It refers to the actors who store and record transactions in a network. Participants can generally refer to other stakeholders as well as people in the business. In the proposed method, it refers to individuals and companies that enable mass customization to be carried out more effectively. These are customer, designer, supplier, and manufacturer. Table 1 defines the tasks of the participants, namely the collaborators. Each participant in the network commits to the task he receives.

Table 1. Participants in the proposed method

Participant	Description
Customer	This participant refers to the actor who will buy or design a product.
Designer	This participant gives confirmation whether the designed product will be

	produced or not.
Supplier	This participant refers to the actor who will supply raw materials for the product to be produced.
Manufacturer	This participant is the actor who will provide production of the product and machine support.

**Assets:** It refers to tangible or intangible goods and services in a network. For example, in a blockchain created by an airline company, airplanes can be defined as assets. In this method we recommend, products (furniture) and raw material assets are expressed. Every transaction performed on assets is recorded. Thus, the status of assets is kept up-to-date and participants are able to carry out their transactions securely on a trackable platform.

**Transactions:** It refers to the actions to be taken on the assets by the participants. In the proposed method, transactions such as design creation, design approval, machine request, design deletion, functional compatibility are defined. Transactions on assets are made and recorded by the participants. The times when transactions are changed with the "Time stamp" feature of the blockchain are tracked by each participant. In case of any irregularity or transaction, the system can be intervened.

**Access Control Rules:** A business network that can be controlled by blockchain can be created and traceability can be ensured. Using the access language with Hyperledger Composer, the privileges of the participants to create, read, update and delete items are defined.

### 3.3. Architecture of Platform

Smart contracts are important tools to ensure cooperation between users and determine the rules. In the proposed method, if a customer requests a product to be produced, all users are expected to approve the process. Otherwise, the product will be prevented from entering the production process. As can be seen in the Fig. 4, approval conditions are provided in case of consensus. It is very important to determine the rules in a smart contract. Because irreversible data transactions are added to the blockchain.

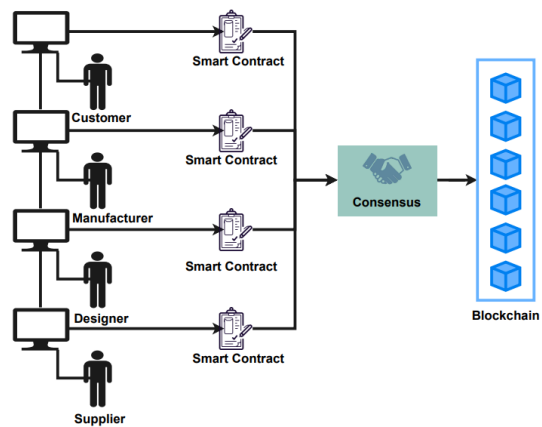


Figure 4. Approval process with smart contract

As seen in the Fig. 5, the proposed platform consists of five modules: users, frontend, core, manager and blockchain.

**Participant Module:** User section refers to the actors on the platform. Customer refers to the actor who will request the



product, Manufacturer refers to the actor who will provide the machine support to be used in the production of the product, designer refers to the actor who will decide on the functionality of the product to be produced, and Supplier refers to the actor who will supply the raw material required for the production of the product.

**Front End Module:** Operations such as user login, order creation, order rejection is offered to users with the front end. With the "Sign" operation, users are allowed to log in to the system. With the "Create Order", a product request is made in line with the customer's request. With the "Order Approval" process, Manufacturer, Designer and Supplier users approve the production of the product. With the "Order Reject" process, it is decided that the product will not enter the production process.

**Core Module:** In the core module, the functions that will be required in the product design process are defined. In this section, which is used by the admin, manufacturer, designer and supplier, operations are carried out in line with the product and user information. Product and user information are managed by the admin. Material request, machine request and design functionality are used by the manufacturer, designer and supplier.

**Admin Module:** It is provided to observe the user operations of the administrator section and to prevent unauthorized logins.

**Blockchain Module:** Blockchain part refers to the module where data is recorded, cooperation is ensured and transactions are stored irreversibly.

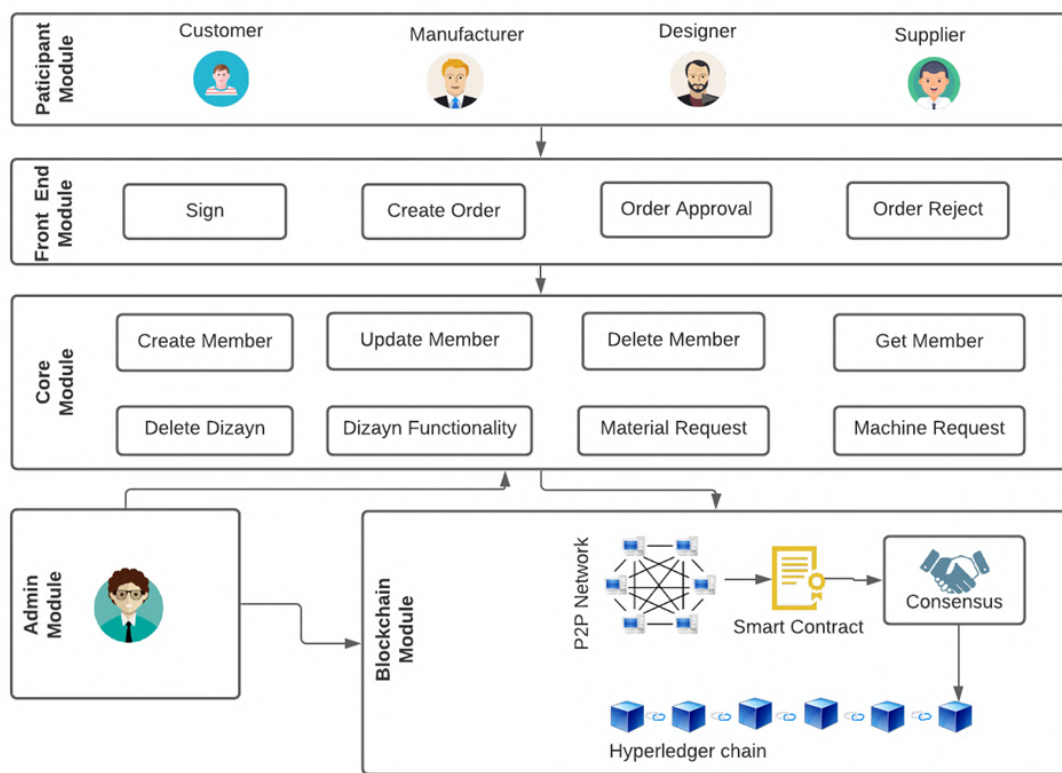


Figure5. Architecture of the proposed method

## 4. Discussion

Since the blockchain is a new technology, it faces various difficulties in the implementation phase. In the proposed application, the participants are required to support the technical infrastructure and pay a cost for it. As in many sectors, the production sector will also be shy about new technologies. It will have various concerns due to the fact that its applications are not widespread. Therefore, paying a cost for such a system would be risky for many investors.

A traceable and reliable system is offered as every user in the blockchain stores the data. But this will also bring with it the problem of storing increased data. This is one of the biggest concerns of systems designed with blockchain.

As a solution to this, it is recommended to store big data outside of the blockchain. However, this will put additional costs and data security at risk. Another solution is to secure data stored outside the blockchain with cryptographic transactions.

## 5. Conclusion

This paper, a solution has been sought to overcome the communication problems of the actors in the sector today, where the demand for mass customization is increasing. Communication between actors (such as manufacturer, customer, supplier) is very important in mass customization. However, existing systems cannot provide the necessary infrastructure. Blockchain technology was used to solve this

problem. It adds security and traceability features to blockchain systems. With the proposed method, the communication and traceability of the actors on the sample scenario with each other were ensured. Transactions on the blockchain are transparent and immutable. For this reason, the transactions performed by the actors are recorded and secured. Identities are not important in public blockchain types. However, the identities of actors are important in business networks, as in the platform we propose. In trade, people care that the people they

## References

- ALTAY TOPCU, Betül, and Sevgi SUMERLİ SARIGÜL. 2020. "Dünyada ve Türkiye'de Blok Zinciri Teknolojisi: Finans Sektörü, Dış Ticaret ve Vergisel Düzenlemeler Üzerine Genel Bir Değerlendirme." *European Journal of Science and Technology* (April): 27–39.
- DİKİLİTAŞ, Yılmaz, Kazım Onur TOKA, and Ahmet SAYAR. 2021. "Current Research Areas in Blockchain." *European Journal of Science and Technology* (26): 488–92.
- Hildegunn Kyvik Nordås. 2016. "Services Trade Restrictiveness Index: The Trade Effect of Regulatory Differences." *OECD Trade Policy Papers*, N° 28 (189). [http://www.oecd.org/tad/services-trade/STRI\\_Policy\\_Brief\\_ENG.pdf](http://www.oecd.org/tad/services-trade/STRI_Policy_Brief_ENG.pdf).
- Ho, G. T.S. et al. 2021. "A Blockchain-Based System to Enhance Aircraft Parts Traceability and Trackability for Inventory Management." *Expert Systems with Applications* 179(April).
- Homburg, Christian, Martin Schwemmler, and Christina Kuehnl. 2015. "New Product Design: Concept, Measurement, and Consequences." *Journal of Marketing* 79(3): 41–56.
- Huffman, Cynthia, and Barbara E. Kahn. 1998. "Variety for Sale: Mass Customization or Mass Confusion?" *Journal of Retailing* 74(4): 491–513.
- Inayatullah, and Rakesh Narain. 2017. "Counteracting the Barriers to Adoption of Mass Customization Practices in Indian SMEs: A Case of Furniture Industry." *2017 International Conference on Advances in Mechanical, Industrial, Automation and Management Systems, AMIAMS 2017 - Proceedings*: 48–52.
- Kristensson, Per, and Peter R. Magnusson. 2010. "Tuning Users' Innovativeness during Ideation." *Creativity and Innovation Management* 19(2): 147–59.
- Kumar, Mahender, and Satish Chand. 2021. "MedHypChain: A Patient-Centered Interoperability Hyperledger-Based Medical Healthcare System: Regulation in COVID-19 Pandemic." *Journal of Network and Computer Applications* 179(January): 102975. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.102975>.
- Leng, Jiewu et al. 2020. "Blockchain-Empowered Sustainable Manufacturing and Product Lifecycle Management in Industry 4.0: A Survey." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 132(December 2019): 110112. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110112>.
- Mills, Peter K., Richard B. Chase, and Newton Margulies. 1984. "Motivating the Client/Employee System as a Service Production Strategy." *Journal of Library Administration* 5(1): 97–112.
- Neely, Andy. 2008. "Exploring the Financial Consequences of the Servitization of Manufacturing." *Operations Management Research* 1(2): 103–18.
- Pallant, Jessica L., Sean Sands, and Ingo Oswald Karpen. 2020. "The 4Cs of Mass Customization in Service Industries: A Customer Lens." *Journal of Services Marketing* 34(4): 499–511.
- Purohit, Soumya et al. 2021. "HonestChain: Consortium Blockchain for Protected Data Sharing in Health Information Systems." *Peer-to-Peer Networking and Applications*.
- Qi, Yinan, Zhigang Mao, Min Zhang, and Hangfei Guo. 2020. "Manufacturing Practices and Servitization: The Role of Mass Customization and Product Innovation Capabilities." *International Journal of Production Economics* 228(February): 107747. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107747>.
- Surjandari, Isti, Harman Yusuf, Enrico Laoh, and Rayi Maulida. 2021. "Designing a Permissioned Blockchain Network for the Halal Industry Using Hyperledger Fabric with Multiple Channels and the Raft Consensus Mechanism." *Journal of Big Data* 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40537-020-00405-7>.
- "Typical Hyperledger Composer Solution Architecture." <https://hyperledger.github.io/composer/v0.19/introduction/solution-architecture>.
- Ulrich, Pamela V., Lenda Jo Anderson-Connell, and Weifang Wu. 2003. "Consumer Co-Design of Apparel for Mass Customization." *Journal of Fashion Marketing and Management* 7(4): 398–412.
- Zhang, Min, Hangfei Guo, and Xiande Zhao. 2017. "Effects of Social Capital on Operational Performance: Impacts of Servitisation." *International Journal of Production Research* 55(15): 4304–18. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2016.1246764>.
- Zhu, Xiaobao, Jing Shi, Samuel Huang, and Bin Zhang. 2020. "Consensus-Oriented Cloud Manufacturing Based on Blockchain Technology: An Exploratory Study." *Pervasive and Mobile Computing* 62: 101113. <https://doi.org/10.1016%2Fj.pmcj.2020.101113>.



# Transfer Ladle Tracking System Using Wireless Sensor Network

Meriç Işık<sup>1\*</sup>, Özlem Karaca Akkan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> R&D Center, CMS Jant ve Makina San. A.Ş. İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6612-5717), [misik@cms.com.tr](mailto:misik@cms.com.tr)

<sup>2</sup> Dokuz Eylül University, İzmir Vocational School, Telecommunication Programme, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1781-6375), [ozlem.karaca@deu.edu.tr](mailto:ozlem.karaca@deu.edu.tr)

(First received 30 April 2021 and in final form 16 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.930463)

**ATIF/REFERENCE:** Işık, M., Karaca Akkan, Ö. (2021). Transfer Ladle Tracking System Using Wireless Sensor Network. *European Journal of Science and Technology*, (31), 205-211.

## Abstract

Process optimization is one of the most important steps in improvement. Data need to be collected and evaluated to improve a process, reduce non-value-added time and make the process more efficient. Within the scope of the study, the foundry of a company that produces passenger car wheels using low pressure casting method is theoretically modified with a sensor network containing RFID and ZigBee, thermocouple and wireless forklift scale. Problems that may be encountered while establishing the sensor network are anticipated and solution suggestions are presented.

**Keywords:** Sensor network, RFID, ZigBee, Communication protocol.

## Kablosuz Sensör Ağı ile Transfer Potası Takibi

### Öz

Süreç optimizasyonu, iyileştirmenin en önemli adımlarından biridir. Bir süreci iyileştirmek, katma değersiz zamanı azaltmak ve süreci daha verimli hale getirmek için verilerin toplanması ve değerlendirilmesi gerekir. Çalışma kapsamında, alçak basınçlı döküm yöntemi ile binek otomobil jantları üreten bir firmanın dökümhanesi, RFID, ZigBee, termokupl ve kablosuz forklift çatal kantarı içeren bir sensör ağı ile teorik olarak modifiye edilmiştir. Sensör ağı kurulurken karşılaşılabilecek sorunlar öngörülerek çözüm önerileri sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Sensör ağı, RFID, ZigBee, İletişim protokolü.

\* Corresponding Author: [misik@cms.com.tr](mailto:misik@cms.com.tr)

## 1. Introduction

In order for a process to be optimized, the process steps must first be determined and defined clearly. The collection of data which is the inputs of the process steps, is of great importance in terms of optimization. After the data is collected, process analysis is performed to determine non-value-added times and studies that can increase process efficiency are carried out.

Within the scope of the study, it is aimed to follow the transfer ladle in a foundry by establishing a sensor network. Transfer ladle and forklift tracking is a widely studied topic in the industry. A wide variety of sensor networks, sensors, data collection methods are used on the subject.

The second chapter includes a comprehensive literature review. In the third chapter, the current transfer system used in the foundry is explained. In the fourth chapter, tools and protocols used in system optimization are mentioned. The optimized transfer pot tracking system is explained in detail in the fifth chapter.

## 2. Literature Review

In this chapter, literature research on wireless ladle transfer systems is mentioned.

In the study in which the cast iron ladle is followed, Wu et al. carried out the ladle tracking using a combination of ZigBee and image processing methods. In the study, the overhead traveling crane system is followed by ZigBee. With image processing, the number of the ladle carried by the crane is read and the position accuracy is checked. Test results show that the position of the ladles can be measured with 2m accuracy. The accuracy rate of the position tracking of the ladles is 97.34% (Wu et al. 2018).

Zhou et al have used RFID and WLAN technology in the tracking of iron and steel casting ladles. In order to optimize the number of ladles, data is collected from the foundry environment. These data are analyzed with the queuing theory methods and the appropriate number of ladles is determined. In the installed system, the location of the ladles is detected by RFID sensors. Communication between the ladles and the main control room is established by WLAN (Zhou et al. 2019).

Most of the quality problems experienced in a foundry often occur due to the chemical composition or the wrong casting process. In order to eliminate the problems causing chemical problems, the weight of the ladle is measured by the load cell and the position of the ladle is tracked by RFID systems. The optimization of the transfer and alloying process is achieved with the information of ladle positions and weight data. As a result of the study, stable chemical composition is obtained in the foundry (Singh et al. 2020).

In a foundry, ladle tracking is carried out and the transfer process is optimized by Ahualli et al (2014). Ladle tracking is provided by passive RFID tags attached to the ladles. Problems such as RFID tags not functioning are encountered due to the excess of metal in the environment and the high surface temperature that affects the operation of the RFID tag. The problem is overcome by creating a compartment for the RFID tag on the ladle.

In a patent study, Donald et al. developed a system that measures the weight of the transfer ladle while transporting the metal from one point to another. The system consists of load cells integrated into critical areas of the ladle transfer car. With the method based on theoretical calculation, transfer ladle weights can be measured on the car while transporting (Watkins et al. 1998).

## 3. Current Ladle Transfer System

In this section, the ladle transfer process carried out in the foundry of the factory is explained. The current situation analysis carried out and the potential points for improvement have been determined.

One of the most important points of production efficiency is planning. Process stabilization is achieved by transferring the appropriate raw material to the casting benches on time. The planning process which has a direct impact on product quality, is currently carried out depending on the operators. The disadvantages of the current situation are listed below.

- The follow-up of the transfer of metal from the melting furnaces to the casting benches depends on the operators.
- Failure to determine the non-value-added time that occurs during transfers.
- Inability to make instant workforce planning, uncertainty of working with more or less operators.
- The problem of molten metal cooling during transfer and its effects on the casting process as disruptive input.
- The amount of metal in the transfer ladle is under the control of the operator.
- The metal level in the casting bench decreases due to the prolongation of the transfer ladle waiting time.

During a metal transfer cycle, molten metal is fed to four casting benches with the transfer ladle (Fig. 1). Since there are 72 casting benches in total, 18 transfers are required to transfer metal to all casting benches. The transfer process is done 6 times per shift. A total of 324 transfers per day are made in the factory, which has a 3-shift system.

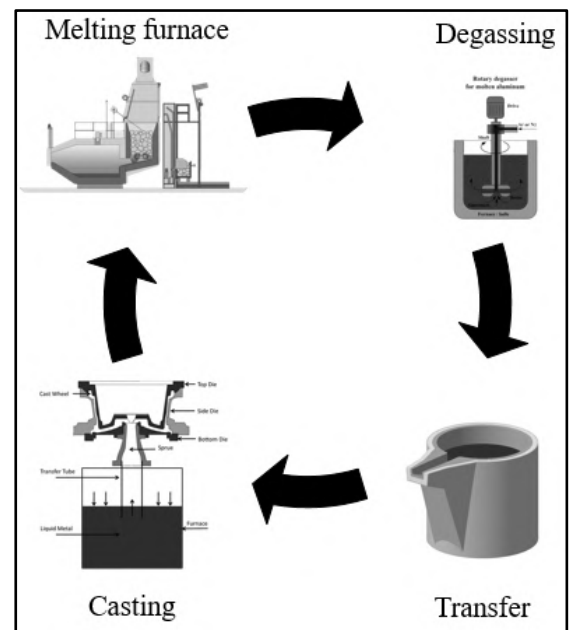


Figure 1. Transfer cycle.



22 ladle transfers were examined in order to perform the current situation analysis. Theoretical and actual metal temperatures, transfer times data were collected. The normal distribution of the data was evaluated by statistical analysis. Normal distribution is a term that indicates the ability of a population sample to represent the population. If a data is distributed normally, the sample represents the population. P values greater than 0.05 indicate that the data show a normal distribution (Işık, 2019). It was determined that the collected transfer process data were distributed normally (Fig. 2). After determining that the data were distributed normally, the current situation analysis was carried out (Table 1). The losses were analyzed separately for each step (Fig. 3). During the calculation of the losses, the heat energy formula was used. The amount of energy lost was determined and its financial equivalent was calculated. The annual average financial loss has been determined as 210266 TL.

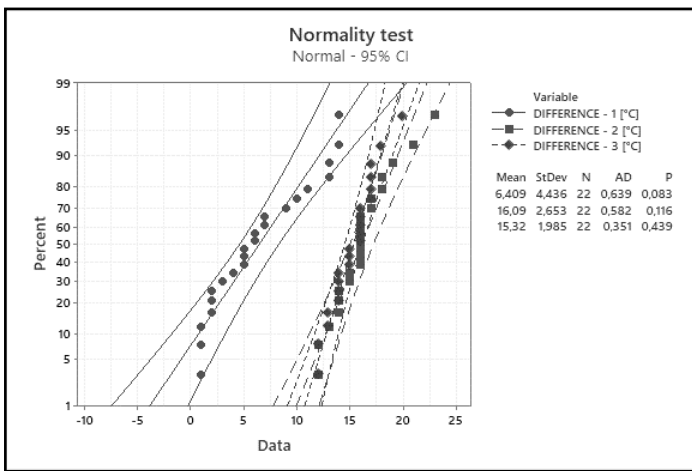


Figure 2. Normality test of collected data.

Heat energy formula (Eq. 1) is used to calculate the amount of heat loss during transfers.

$$Q = mc\Delta T \quad (1)$$

- Q: Heat energy [J] or [kWh]
- m: Mass [kg]
- c: Specific Heat [J°C-1kg-1]
- ΔT: Change in temperature [°C]

Loss cost formula is derived from heat energy to calculate the financial loss. The coefficient may vary depending on the time and country (Eq. 2).

$$L = Q \cdot n \quad (2)$$

- L: Loss cost [TRY]
- Q: Heat energy [kWh]
- n: Natural gas cost [TRY/kWh] (February, 2021, Izmir, Turkey Natural Gas Prices used).

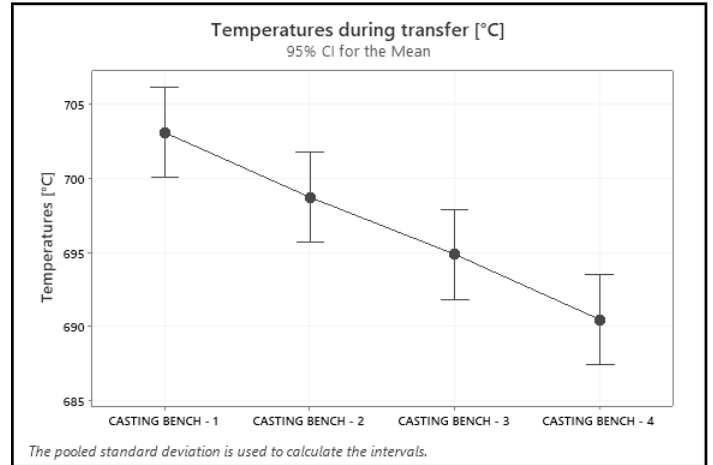


Figure 3. Means of the temperatures of the molten metal fed to the casting benches. (Statistically significant differences between means (P < 0.05))

## 4. Used Communication Protocols and Modules

It is planned to use Modbus RTU, RS-485, ZigBee, RFID, thermocouple and load cell in the ladle transfer system developed. Communication protocols and details of modules are given in the following subsections.

### 4.1. Modbus RTU

Modbus is one of the most widely used industrial communications protocols in industrial control applications. Modbus Remote Terminal Unit (RTU) is point to point open serial communication protocol. It is used to develop communication between intelligent devices (Urrea et al. 2016). Modbus RTU protocol works in the data layer, which is the second layer of the OSI (Open System Interconnection) model (Guarese et al. 2012).

#### Advantages

- It has been developed for industry applications.
- It has been published openly and is not subject to many fee.
- It is easy to install and maintain.

#### Limitations

- The Modbus protocol was programmed in the 1970s. Therefore, the technological constraints of the time have been carried to the present day.
- Modbus is limited to addressing 247 devices in one data link
- Modbus protocol does not contain measures taken against security problems.

### 4.2 RS-485

RS-485 is a serial communication standard developed for using in long distances, noisy environments, places requiring higher speed and where more transceivers are required. Network topology of the RS 485 is point to point, multi-dropped or multi-point. Devices can be located up to 1200 meters away without using a repeater. By using RS-485, up to 32 devices can be connected (Int Ref. 1).

Table. 1 Due Diligence

Variable	Mean	StDev	Minimum	Maximum
Estimated Molten Metal [kg]	1200	0	1200	1200
Theoretical Temperature Before Degassing [°C]	728,14	6,92	715	739
Measured Temperature Before Degassing [°C]	721,86	6,96	710	733
Energy Loss - 1 [J]	7248764	5083412	1155600	16178400
Energy Loss - 1 [kWh]	2,014	1,412	0,321	4,494
Loss of Money - 1 [TRY]	0,296	0,2076	0,0472	0,6606
Measured Temperature After Degassing [°C]	705,77	6,77	693	715
Energy Loss - 2 [J]	18594655	3065927	13867200	26578800
Energy Loss - 2 [kWh]	5,165	0,852	3,852	7,383
Loss Cost - 2 [TRY]	0,7592	0,1252	0,5662	1,0852
Casting Bench – 1	703,09	6,77	689	714
Casting Bench – 2	698,73	7,07	684	709
Casting Bench – 3	694,86	7,24	679	705
Casting Bench – 4	690,45	7,56	676	701
Energy Loss - 3 [J]	17701691	2294254	13867200	23112000
Energy Loss - 3 [kWh]	4,917	0,637	3,852	6,42
Loss Cost - 3 [TRY]	0,7228	0,0937	0,5662	0,9437
Total Difference [°C/transfer]	37,68	5,79	30	48
Total Energy Loss [kWh/transfer]	12,096	1,86	9,63	15,408
Total Loss Cost [TRY/transfer]	1,778	0,2733	1,4155	2,2649
Daily Loss Cost [TRY/Day]	576,1	88,6	458,6	733,8
Yearly Loss Cost [TRY/Year]	210266	32326	167401	267842

#### Advantages

- RS 485 connectors are designed to protect excessive current flows in order not to be affected by thermal shut down due to heating.
- Noise immunity.
- RS-485 supports single master and multiple slaves.

#### Limitations

- Only single node can transmit data at a time.
- Special cable types are used in the RS-485 interface.
- In RS-485, system backup is complex and difficult.

### 4.3 ZigBee

ZigBee is a communications standard which provides a cost-effective, short-range networking solution. Zigbee technology, known as low-speed wireless personal network communication technology (LR-WPAN, Low-Rate Wireless Personal Area Network), is highly preferred in applications that can be realized with small-scale data exchange due to its low cost, minimum power consumption, easy installation and flexible structure. Thanks to this technology, it is possible to establish complex network structures, to expand them and to enable these structures to communicate with other technologies (Safaric & Malaric, 2006).

#### Advantages

- Flexible network structure.

- Low power consumption, long battery life
- Self-healing
- Low cost

#### Limitations

- Short range
- It's not secure like Wi-Fi based secured system.
- Low transmission rate (Int Ref. 2).

### 4.4 RFID

The main feature of RFID system is that they use a wireless channel such as GSM or GPS and they have calculation capabilities like magnetic cards. For all these reasons, more and more attention has been paid to this technology in recent years.

The RFID system uses radio waves to identify and track objects (Table 2). It has a recognition system like other recognition systems like fingerprints, barcodes or iris recognition. An RFID system consists of three main components. The first item is the RFID tag (transponder) that contains the identification data, the second item is the RFID reader (transceiver) that requests an information for the stored data, and the third item is the server that processes the data obtained through the RFID reader (Ozcan, 2019).

Table 2. RFID Frequency comparison (Doğan, 2016)

Band	Common Used Frequency	Type of Tag	Communication range		Allowed field strength transmission power
			Typical	Max.	
LF	125-134.2 KHz	Passive	20cm	100cm	72dB $\mu$ A/m max.
HF	13.56 MHz	Passive and semi-passive	10cm	1.5m	60dB $\mu$ A/m max.
	433 MHz	Active	3m	10m	10–100 mW
UHF	860 and 915 MHz	Active and passive	3m	15m	0.1–4 W
	Microwave	2.4 and 5.8 GHz	Active and passive	3m	30m

Advantages

- Simultaneous automatic reading
- High accuracy
- Labour reduction
- Enhanced visibility and forecasting

Limitations

- High cost of the system
- Some materials may create signal problem
- Sporadic false negatives/positives (Pakrash et al. 2012)

### 4.5 Thermocouple

Thermocouple is a type of temperature sensor. It consists of two different conductive materials. If the two ends of these materials are joined (hot spot) and heated, voltage is obtained at the other ends (cold spot). The value of this voltage depends on the type of material used and the heating amount of the junction point. The temperature difference between the hot spot and the cold spot creates a voltage (EMF) on the thermocouple. Different temperatures are read when the cold point temperature changes with the condition that the hot spot temperature remains the same. For this reason, the measured temperature equivalent mV values are obtained by keeping the cold point at 0 ° C in order to provide a standard in the values in the mV tables. Thermocouples are widely used for measurement and control at various temperatures from -200 ° to 2320 ° C (Int Ref. 3).

Advantages

- Fast response
- Wide temperature range
- Durability

Limitations

- Vulnerable to corrosion
- Less accurate (than resistance temperature detectors)

### 4.6 Load Cell

A load cell is the converter used to convert a force into an electrical signal. The transformation takes places indirectly and in two stages. With a mechanical arrangement, the perceived force changes the shape of the strain gauge. The strain gauge measures the shape change as an electrical signal. Because, the strain changes the effective electrical resistance of the wire. A load cell usually consists of four strain gauges arranged in a

*e-ISSN: 2148-2683*

Wheatstone bridge. There are also quarter bridge or half bridge load cells customized according to their usage areas. The electrical signal read by the load cells is usually in the order of several millivolts. For this reason, the signals must be amplified with an amplifier before being used.

## 5. Ladle Tracking System

The melting furnace, degassing machine, transfer ladle and casting benches, which are the main elements of the metal transfer process, will be made to communicate with each other using the sensor network. With this sensor system, which is the first step of IoT, it is aimed to monitor, record and optimize every step in the process. Information about the ladle tracking process is listed below.

The melting furnace is fed with ingots. The weight of each ingot is standard. Thereby, the amount of metal in the melting furnace will be known in the first step. In the later steps of the process, a theoretical correlation will be established between the amount of metal sent to the casting benches and the number of ingots added to the melting furnace.

- It is planned to use the Modbus RTU communication protocol, by means of its advantages, prevalence and free of charge. The 247 devices limit, which is one of the disadvantages of the Modbus RTU protocol, does not pose a problem because the system to be installed contains fewer devices.
- It is planned to use fire and oil resistant RS-485, which is successful in transmitting data over long distances in noisy environments. It is practical to use in the work area as it provides communication opportunity using only two cables.
- Passive RFID tags will be used in the sensor network. The average temperature of the ladle is around 280°C (Fig. 4.). The values in Table 3 are used as input for finite element analysis and an RFID sensor protective pocket is designed. The average surface temperature of the pocket that designed for RFID tag installation is 200 °C (Fig. 5). Therefore, the RFID tag to be used must be resistant to high temperatures. The suitable operating temperature for RFID tag must be up to 200 °C. However, it should be able to withstand temperatures of 800 °C for a short time. Reading RFID tags by more than one antenna at the same time causes problems. RFID tag frequencies and ladle routes considered together to determine appropriate antenna locations. The distance will be 1.5 m between the antennas to be placed around the casting benches and the RFID tag during feeding the casting bench. Therefore, it is appropriate to use 860 MHz RFID devices.

$$R_n = \frac{\Delta L}{kA} \tag{3}$$

Rn: absolute thermal resistance (W-1°C) across the thickness of the sample

ΔL: thickness (m) of the sample (measured on a path parallel to the heat flow) [m]

k: thermal conductivity of the sample [W°C-1m-1]

Table 3. Heat transfer through ladle wall

T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	T <sub>3</sub> [°C]	T <sub>4</sub> [°C]
750	724	295	295
Molten Metal	Refractory	Fiber	Steel Shell
<b>Thickness</b>	<b>L<sub>1</sub></b>	<b>L<sub>2</sub></b>	<b>L<sub>3</sub></b>
<b>m</b>	0,025	0,025	0,01
<b>Area</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>3</sub></b>
<b>m<sup>2</sup></b>	1	1	1
<b>Thermal conductivity</b>	<b>k<sub>1</sub></b>	<b>k<sub>2</sub></b>	<b>k<sub>3</sub></b>
<b>W/(m<sup>2</sup>.C)</b>	2,5	0,153	50,0000
<b>Thermal resistance</b>	<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>R<sub>3</sub></b>
<b>m<sup>2</sup>.C/W</b>	0,0100	0,1634	0,0002



Figure 4. Thermal imaging of the ladle (Emissivity of stainless steel, weathered is 0,79)

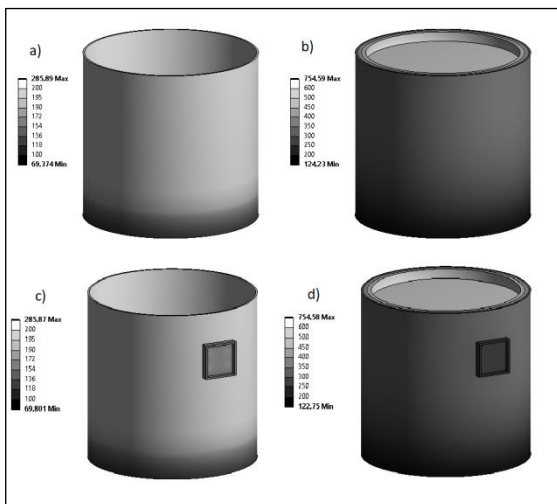


Figure 5. Transient Thermal Analysis of Transfer Ladle, a) Steel shell, b) Whole model, d) Steel shell with pocket, e) Whole model with pocket.

- The temperature of the molten metal is on average 800 °C. The thermocouple to be used will remain in the molten metal continuously. Therefore, it should not be physically damaged when reading the temperature correctly. K-Type thermocouples operate between -200 °C and 1200 °C. It is advantageous to use K-Type thermocouples by means of its wide use in the industry and its compatibility with the system.
- The read data will be transferred over ZigBee. Thermocouple data should be transmitted to the center at one data per minute. As the ladle will move on the forklift, its position will constantly change in the factory. By means of the mesh topology arranged in accordance with the layout, the temperature data read by the thermocouple will be transmitted to the center without interruption. Since long distances are targeted in data transmission, 868 MHz frequency is appropriate to use.
- The amount of metal taken from the melting furnace must be measured. It is appropriate to use weight-measuring electronic forks by revising the forks of forklifts carrying the crucibles. The use of industrial products has been determined as a more practical solution than revising forklift forks with load cells.
- The amount of metal fed to the casting bench must be recorded along with the temperature and time stamp.
- By knowing the amount of metal given to the casting bench, the amount of metal in the casting bench can be calculated instantly. The calculation must be made taking into account the wheel volume. The number of wheels produced must be multiplied by the wheel weight and subtracted from the amount of metal given. In this way, the remaining amount of metal will be obtained.
- If the remaining metal level falls below the specified value in the casting bench, a warning message must be sent to melting furnace, casting bench and forklift operators.
- The temperature of the metal taken from the melting furnace must be determined and it must be provided as an input to the casting bench where the metal is supplied.
- Storing all information is critical for process optimization. The time counter starts when the "low metal level" information from the casting machine is transmitted to the center. In order to meet the metal requirement, a ladle will go to the melting furnace. The time the ladle goes to the melting furnace will be recorded. The information of the ladle that reaches the melting furnace will be collected as described in the articles above. The data collected from every point of the system is very important in determining the performance of the system and eliminating the detected bottlenecks.

- Each location information read by the antennas must be transmitted to the system center and stored with time, ladle number and temperature stamps.



## 6. Conclusion

Within the scope of the study, a detailed literature review on ladle tracking systems has been done. Advantageous aspects of existing systems were combined in a project and additional improvements were made on existing systems. It is aimed to equip the foundry of the factory that produces an aluminum alloy passenger car wheel, with a sensor network. The working logic and main components of the system have been determined. After the system is engaged, the data collection phase will be carried out. Non-value-added times will be determined, financial gain, process stabilization, planning capability, predictability, risk management skill and quality gain will be provided.

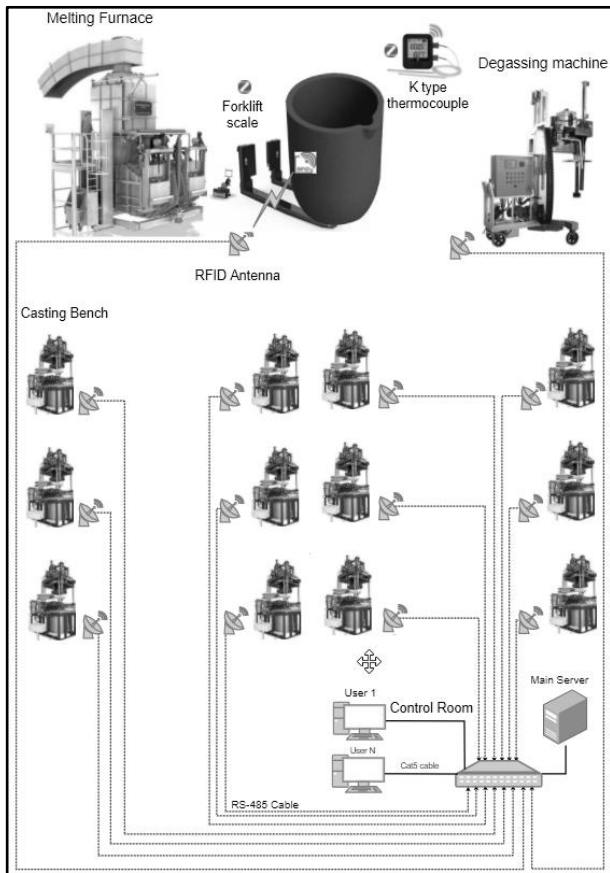


Figure 6. System Overview

## References

- Ahualli, J. F., Sagasti, J., G., Meyer, S., Memoli, F. (2014). Physical Ladle Tracking, *AISTech Conference Proceedings*, 66-158.
- Dogan, H., Çağlar, M. F., Yavuz, M., and Gözel, M. A. (2016). Use of radio frequency identification systems on animal monitoring. *SDU Int. J. Technol. Sci*, 8, 38-53.
- Guarese, G.B., Sieben, F.G., Webber, T., Dillenburg, M.R. and Marcon, C. (2012). November. Exploiting Modbus protocol in wired and wireless multilevel communication architecture. *Brazilian Symposium on Computing System Engineering* 13-18.

- Işık, M. (2019). Alüminyum Alaşımli Binek Araç Jantlarının Dinamik Viraj Yorulması Davranışının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Master's Degree Thesis, Dokuz Eylül University, Department of Mechanics, 80.
- Özcan, C. (2019). Lojistik Alanlarında RFID Sisteminin İşletmelerde Uygulama Olanakları ve Avantajları: İzmir İlinde Bir Uygulama, Institute of Social Sciences, Department of Business Administration, International Business Program
- Parkash, D., Kundu, T. and Kaur, P. (2012). The RFID technology and its applications: a review. *International Journal of Electronics, Communication & Instrumentation Engineering Research and Development (IJEIERD)*, 2(3), 109-120.
- Safaric, S. and Malaric, K. (2006). June. ZigBee wireless standard. In *Proceedings ELMAR*, 259-262.
- Singh, R., Kumar, A., Ranjan, R. and Singh, G. (2020). Digitalization to drive quality: the synergy between ladle tracking system and prediction models. *Ironmaking & Steelmaking*, 47(7), 814-820.
- Termokupllar ile ilgili genel bilgiler. (n.d.). Elimko. Retrieved March 1, 2021, from <https://elimko.com.tr/files/TermokupllarGenelBilgiler.pdf> (Int Ref. 3).
- Tips for success in Using RS-485 data communications. (n.d.). BB SmartWorks. Retrieved March 1, 2021, from <https://bb-elec.com/Learning-Center/All-White-Papers/Serial/RS-485-Tips-Tricks-Questions-Answers.aspx#:~:text=A%3A%20A%20standard%20RS%2D485,32%20nodes%20to%20be%20connected> (Int Ref. 1).
- Urrea, C., Morales, C. and Kern, J. (2016). Implementation of error detection and correction in the Modbus-RTU serial protocol. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 15, 27-37.
- Watkins, M., D., Hugget., T., V., Martt, F., J. (1988). Ladle Transfer Car with Weighing System, Patent Number:4887551, Date of Patent: Nov. 7, 1989
- Wu, C., Xiong, L. and Cao, R. (2018). May. Research on molten iron ladles location method based on the combination of ZigBee and image. *13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)* 36-41.
- Zhou, J., Niu, D., Li, Q. and Liu, J. (2019). Iron and steel ladles tracking management system based on RFID and WLAN. *The Journal of Engineering*, (22), 8310-8314.
- Zigbee end devices. (2008). ScienceDirect. Retrieved March 1, 2021, from <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/zigbee-end-device> (Int Ref. 2).



# E-Devlet Kapısını Kullanmayı Etkileyen Faktörlerin Araştırılması

Kamil Çelik<sup>1\*</sup>, Mehmet Orhan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bartın Üniversitesi, İ.İ.B.F., Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Bartın, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4530-1048), kamilcelik86@gmail.com

<sup>2</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde Sosyal Bilimler MYO, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Niğde, Türkiye, (ORCID: :0000-0003-1160-0258), mehmetorhan01@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 16 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.972584)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, K. & Orhan, M. (2021). E-Devlet Kapısını Kullanmayı Etkileyen Faktörlerin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 212-222.

## Öz

Teknoloji alanında son yıllarda ortaya çıkan gelişmeler internet kullanım oranlarını artırmıştır. Vatandaşların kamu yönetimlerinden beklentileri hem artmış hem de farklılaşmıştır. Bu bağlamda kamu yönetimleri internet tabanlı teknolojileri daha fazla kullanmaya başlamıştır. Böylece E-devlet kapısı ortaya çıkmış ve kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Günümüzde birçok vatandaş E-devlet kapısı vasıtasıyla kamusal işlemlerini gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada teknoloji kabul modeline yeni değişkenler eklenerek E-devlet kapısını kullanmayı etkileyen faktörler araştırılmıştır. Modelde algılanan fayda, algılanan kullanım kolaylığı, bilgi kalitesi, sistem kalitesi, kişilerarası etki ve dış etkinin kullanıcı tatmini üzerindeki etkisi, kullanıcının tatminin de E-devlet sistemini kullanmaya devam etme niyeti üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bunun için 1427 E-devlet sistemi kullanıcılarına yönelik bir araştırma yapılmıştır. Veriler yapısal eşitlik modeli ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre algılanan fayda, algılanan kullanım kolaylığı, bilgi kalitesi, kişilerarası etki ve dış etki kullanıcı tatmini üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkiye sahip olduğu, sistem kalitesinin ise tatmin üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ayrıca kullanıcı tatmininin E-devlet sisteminin kullanmaya devam etme niyetini anlamlı ve pozitif olarak etkilediği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** E-devlet, Teknoloji Kabul Modeli (TKM), Bilgi Sistemi, Davranışsal Niyet.

## Investigation of the Factors Affecting Using the E-Government Portal

### Abstract

Developments in the field of technology in recent years have increased the rate of internet usage. Citizens' expectations from public administrations have both increased and differentiated. In this context, public administrations have started to use internet-based technologies more. Thus, the e-government door emerged and its use has become increasingly widespread. Today, many citizens carry out their public transactions through the e-government portal. In this study, new variables were added to the technology acceptance model and the factors affecting the use of the e-government door were investigated. In the model, the effect of perceived usefulness, perceived ease of use, information quality, system quality, interpersonal influence and external influence on user satisfaction, and the effect of user satisfaction on the intention to continue using the e-government system were investigated. For this purpose, research was conducted on 1427 e-government system users. The data were analyzed with the structural equation model. According to the results of the analysis, it was seen that perceived usefulness, perceived ease of use, information quality, interpersonal influence, and external influence had a significant and positive effect on user satisfaction, while system quality did not have a significant effect on satisfaction. In addition, it has been determined that user satisfaction significantly and positively affects the intention to continue using the e-government system.

**Keywords:** E-Government, Technology Acceptance Model (TAM), Information System, Behavioral Intention.

\* Sorumlu Yazar: [kamilcelik86@gmail.com](mailto:kamilcelik86@gmail.com)

## 1. Giriş

Bilgi iletişim teknolojilerinin hızla gelişmesiyle beraber ortaya çıkan dijital devrim sadece insanların günlük hayatlarını değiştirmekle kalmamış, aynı zamanda özel işletmeler ile vatandaş ve devlet ile vatandaşlar arasındaki iletişim ve etkileşim özelliklerini de değiştirmiştir (Acılar, 2015). Türkiye’de de internet kullanımının yaygınlaşmaya başlanmasıyla beraber bilgi toplumu ve bilgiye dayalı ekonomi kavramların tanımlanmasıyla ilgili çalışmalara önem verilmiştir. Bu dönemde internetin sağladığı fayda ve fırsatlar özellikle özel işletme ve organizasyonlarca fark edilmesiyle beraber bu özel işletme ve organizasyonlarca internet siteleri oluşturulmaya başlanmıştır. İnternet’in topluma hizmet sağlamada iyi bir araç olarak kullanılabileceği Kamu Kurumları tarafından da fark edilmesiyle, bu kurumlar da kendi internet sitelerini oluşturmaya başlamıştır. Bu dönemde kurulan internet siteleri önceleri sadece bilgilendirme amacıyla oluşturulmuşken daha sonra değişim geçirerek hizmet verme amacı gütmeye başlamıştır (Naralan, 2009:5). Bu dönemde kurumların internet siteleri arasında uyum olmaması ve E-devlet uygulamaları ile ilgili koordinasyon ve entegrasyon ihtiyacının giderilememiş olması bazı problemleri de beraberinde getirmiştir. Birçok kurum çerçevesinde çok sayıda proje uygulanmaktayken, bütünleşmiş bir sistem geliştirilememiştir (Yavuz ve Çarıkçı, 2009: 13). 2001 ve sonraki yıllardan itibaren internet sitelerince sağlanan kamusal hizmetlerin koordinasyon kolaylığının sağlanması için tek noktadan- yürütülmesi görüşü kabul görmüştür (Akçakaya, 2017: 18). Bunun sonucu olarak literatürde “E-devlet” olarak ifade edilen “E-devlet Kapısı Projesi” ortaya çıkmıştır.

Türkiye’de 18 Aralık 2008’de “E-devlet Kapısı Projesi” hizmete açılmasıyla birlikte tüm E-devlet uygulamaları tek çatı altında yürütülmeye başlamıştır. E-devlet hizmetlerinin tümüne birden ulaşmayı sağlayan ‘E-devlet kapısında yar alan tanıma göre E-devlet, tüm kamu hizmetlere tek merkezden ulaşma olanağı sunan büyük ve kapsamlı bir internet sitesidir. Bu bağlamda E-devlet Kapısı’nın temel hedefi kamusal hizmetlerin, vatandaş(lar)a, işletmelere, kurum ve kuruluşlara bilgi ve iletişim teknolojileri ile verimli ve etkin bir biçimde sunulması olarak gösterilebilir (Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi-Projeler, t y).

E-devlet sistemiyle tüm elektronik devlet hizmetlerinin kesintisiz çalışabilmesi; zaman ve enerji kaybı minimum düzeye indirilmesi hedeflenmiştir. E-devlet projesi kapsamında ilk etapta 22 kamu hizmetine erişim yapıp (Yavuz ve Çarıkçı, 2009: 13) ve yaklaşık 10000 kullanıcısı bulunmaktayken; 20/12/2020 tarihi itibarıyla 51.856.543 kayıtlı kullanıcı bulunmakta ve 702 kuruma ait 5.377 hizmete ulaşılabilir. Türkiye’nin nüfusunun yaklaşık 82 milyon olduğu düşünüldüğünde nüfusun yarısından fazlası E-devlet kayıtlı kullanıcısı konumundadır (TÜİK, t.y.). Bu hizmetlerin neredeyse tamamına kullanıcılar “http://www.turkiye.gov.tr” adresi aracılığıyla kolaylıkla erişebilmektedir. Böylelikle bu internet sitesiyle çok sayıda kamu hizmetine tek çatı altında tek adresten ulaşabilme imkânı sunulmaktadır (Yavuz ve Çarıkçı, 2009: 13). Bilgi toplumuna hazırlık açısından Türkiye’nin e- devlet uygulamaları, uluslararası kuruluşlar tarafından açıklanan raporlarda Dünya sıralaması bakımından ortalamasının üzerinde sırada yer almaktadır. Ayrıca raporda Türkiye’nin telekomünikasyon altyapı alanında göstermiş olduğu başarılarından övgüyle bahsedilmiş ve verilen

hizmetlerin diğer ülkelere kıyasla ucuz olduğu vurgulanmıştır (Taytak ve Vural, 2019, 68-69).

Literatür taraması sonucunda Türkiye’nin E-devlet sistemiyle ilgili olarak vatandaşların sisteminden memnuniyetleri ve onları sistemi kullanmaya iten faktörlerin belirlenmesine yönelik çalışmaların az sayıda olduğu görülmüştür. Bu nedenle çalışmada Türk vatandaşlarının E-devlet sisteminden memnuniyetlerini ve onları kullanmaya iten faktörlerin neler olduğunun araştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmayla literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir. Çalışma vatandaşların E-devlet sisteminin kabulünü etkileyen faktörlerin neler olduğunu göstermesi açısından karar vericiler ve araştırmacılara yol gösterici bir özellik taşımaktadır. Ayrıca bu çalışmayla literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir.

## 2. Teorik Arkaplan

Bu bölümde Türkiye’de E-devlet kapısı sistemi incelenecektir. Ayrıca çalışmada temel alınan teknoloji kabul modeline değinilecektir.

### 2.1. Türkiye’de E-devlet uygulamaları

E-devlet, devlet kurumlarının, özel sektör çalışanları, devlet çalışanları, vatandaş ve diğer devlet kurumlarıyla elektronik biçimde bağlantılı olmasıyla oluşan; emek, zaman ve maddi tasarruflar yapılmasına olanak sağlayan, performans, etkinliği ve verimlilik artışını sağlayan organizasyonel bir sistem olarak tanımlanmaktadır (Akçakaya, 2017: 9). Literatürdeki birçok istatistiksel çalışmada E-devletin yolsuzluğu azaltma ve bürokratik verimliliği artırma yeteneğini ortaya konmuştur (Schopf, 2020).

Türkiye’de E-devlet uygulamalarının başlangıcına yönelik olarak farklı görüşler bulunmaktadır. Bu görüşlerden ilki, Türkiye’de E-devletin temellerinin, 1934 yılında T.C. Ziraat Bankası’nda kullanılmaya başlanan delikli kart sistemiyle çalışan büro makineleriyle başladığını savunan görüştür (Kılıççeken, 2019). Diğer bir görüşe göre ise Türkiye’de E-devlet uygulamalarının geçmişi, 1982 ‘de projelendirilen Merkezi Nüfus İdaresi Projesi (MERNİS) projesi ile ilk çalışmaları 1985 yılında başlayan ve Maliye Bakanlığı tarafından kullanılan Saymanlık Otomasyon projesi (SAYOTO)’dur (Naralan, 2009:5; Demirhan ve Türkoğlu, 2014: 241). İlerleyen yıllarda Türkiye’de, birçok isim altında bilgi toplumuna geçiş amacıyla bu çalışmalara benzer birçok çalışma yapılmıştır. Bu projeler yoğun emek ve zaman isteyen bazı iş ve işlemlerin, bilgisayar kullanılarak kolaylaştırılması için başlatılmıştır. Bu dönemlerde internetin yaygın olmaması nedeniyle bu sistemleri kullanmaktaki temel amaç, yığın bilgilerin kolayca işlenmesi ve saklanmasıydı. Bu bağlamda gerçekleştirilen bu sistem ve çalışmaları, günümüzün E-devlet uygulamalarından farklı otomasyon çalışmaları olarak değerlendirilmektedir (Naralan, 2009:5; Demirhan ve Türkoğlu, 2014: 241).

E-Devlet Kapısı Projesiyle öncelikli olarak, işletmelere, vatandaşlara ve kamu kurum kuruluşlarına bilgi ve iletişim teknolojilerinden faydalanılarak nitelikli, kaliteli, verimli ve etkin biçimde hizmetlerin sağlanması hedeflenmektedir. Birçok gelişmiş ülkelerdeki örneklerinde olduğu gibi E-Devlet Kapısı Projesi devlet- iş- vatandaş olmak üzere üç ana bölüm biçiminde hizmet sunmaktadır (Yavuz ve Çarıkçı, 2009: 13). Şu anda elektrik, doğalgaz aboneliğinden üniversite ön kayıt işlemlerine kadar birçok kamu hizmetine erişim E-devlet ile kolayca



yapılabilmektedir. Önümüzdeki yıllarda tüm kamu hizmetlerine yönelik erişimlerin E-devlet üzerinde kolayca yapılabilmesi hedeflenmektedir.

Literatürdeki bazı çalışmalardaki ampirik bulgular, Türkiye'de E-devlet hizmetlerinin kullanımında cinsiyet farklılığı olduğunu göstermektedir. Türk kadınlarının türk erkeklerine kıyasla E-devlet araçlarını kullanma olasılığı daha düşüktür. Hane halkı geliri, eğitim düzeyi, istihdam ve internet kullanım sıklığı, Türk bireyler için E-devlet kullanımı olasılığı ile pozitif ilişkilidir. Son olarak, yaş çevrimiçi devlet hizmetlerinin kullanımı ile negatif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Birey yaşlandıkça, E-devlet platformlarını kullanma olasılığı azalmaktadır (Kose, 2019). Bu nedenle bilgisayar kullanma becerisi yeterli düzeyde olmayan veya herhangi bir sebeple E-devlete erişme problemi yaşayanlar için banka şubelerine benzer E-devlet erişim büroları kurularak E-devlet hizmetlerine kolaylıkla erişimlerinin sağlanması hedeflenmektedir. Bu hedefe yönelik olarak Türkiye'de elektronik hizmetlere erişim imkânı olmayan vatandaşların dijital hizmetlere erişiminin sağlanması amacıyla kullanıcıyı merkezine alan hizmet sunumunun sağlanması bakış açısıyla "Tek Durak Hizmet Noktası" projesi başlatılmıştır. Bu projeye hizmet sunum kanalları iyileştirilerek çeşitliliği arttırılacaktır. Böylece dezavantajlı kesimler başta olmak üzere tüm vatandaşların kolaylıkla tüm kamu hizmetlerine ulaşabilmesinin sağlanması amaçlanmaktadır. "Tek Durak Hizmet Noktası" projesinin benzer örnekleri incelendiğinde E-devlet portalı benzeri yapılarla beraber fiziksel erişimin de mümkün olduğu Tek Durak noktalarından oluştuğu görülmektedir. Böylelikle hem elektronik kanallardan erişim hem de fiziksel "Tek Durak" noktalarından hizmet sunumunun sağlanmasıyla, eşit şartlarda tüm vatandaşların kolaylıkla kamu hizmetlerine ulaşabilmeleri sağlanacaktır (Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi-Projeler, t y ). Günümüzde Türkiye'de en çok dikkat çeken E-devlet uygulamaları şunlardır (Taytak ve Vural, 2019, s. 70):

- E-devlet kapısı portalı
- Vergi Dairesi Otomasyon Projesi (VEDOP)
- Gümrük İdaresinin Modernizasyonu (GİMOP)
- Merkezi Nüfus İdaresi Sistemi (MERNİS)
- Polis Bilgi Ağı Projesi (POLNET)
- Ulusal Yargı Ağı Projesi (UYAP)
- Tapu ve Kadastro Bilgi Sistemi Projesinin (TAKBİS)
- Motorlu Taşıtlar Otomasyon Projesi (MOTOP)
- Say2000 Web Tabanlı Saymanlık Otomasyon Projesi
- Milli Emlak Otomasyon Projesi (MEOP)

En çok kullanılan E-devlet hizmetleri sırasıyla: 4A Hizmet Dökümü (Sosyal Güvenlik Kurumu Sosyal Güvenlik Kurumu), Dava Dosyası Sorgulama (Adalet Bakanlığı), Sosyal Güvenlik Kurumu Tescil ve Hizmet Dökümü (Sosyal Güvenlik Kurumu ), Vergi Borcu Sorgulama (Gelir İdaresi Başkanlığı) Araç Plakasına Yazılan Ceza Sorgulama (Emniyet Genel Müdürlüğü ) Gençlik ve Spor Bakanlığı Gençlik ve Spor Bakanlığı Yurt Başvurusu şeklindedir (Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi-En Çok Kullanılan Hizmetler, t y ).

## 2.2. Teknoloji Kabul Modeli

İnsanların teknolojiyi kabulü ve benimseme ile konusundaki niyetlerini araştırmak için literatürde birçok model ve(ya) teori sunulmuştur (Al-Emran, Mezhuyev ve Kamaludin, 2018; Lai, 2017; Rafique, Almagrabi, Shamim, Anwar ve Bashir, 2020). Bu modellerden birisi de Teknoloji Kabul Modeli (TKM) dir. TKM ilk olarak Davis (1986) tarafından yapılan çalışmada ortaya konmuştur. TKM, sonrasında Davis, Bagozzi ve Warshaw (1989) tarafından yapılan çalışmada daha geliştirilerek modifiye edilmiştir. Bu model Şekil 1'de sunulmuştur. Etkin bir teorik altyapıya sahip olan TKM, uyarlanabilirliği, basitliği, doğruluk ve sağlamlığı nedeniyle, teknoloji kabulünü ölçmek için şimdiye kadar en yaygın kullanılan modellerden biri haline gelmiştir (Al-Emran ve diğerleri, 2018; Estriegana, Medina-Merodio ve Barchino, 2019; Lin, Fofanah ve Liang, 2011, s. 2; Lin ve diğerleri, 2011, ss. 271-273; Liu ve diğerleri, 2014; Salloum, Alhamad, Al-Emran, Monem ve Shaalan, 2019). TKM; ABD, KSA, Kore, Çin gibi birçok ülke de, e-alışveriş, e-posta, mobil alışveriş, E-ticaret, mobil öğrenme, E-öğrenme, E-devlet, mobil devlet, bilgisayar, çevrimiçi kütüphaneler, cep telefonları, dijital kütüphaneler ve veri tabanları gibi çeşitli alanlarda, çeşitli konularda ve çeşitli bağlamlarda, kullanıcıların bu teknolojileri kabulü ve yeterince kullanıp kullanmadıklarını anlamak ve bu teknolojilerin kabulünü etkileyen faktörleri tanımlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Çelik ve Sökmen, 2018, s. 79; Rafique ve diğerleri, 2020; Yıldırım ve Kaplan, 2019, ss. 26-27).

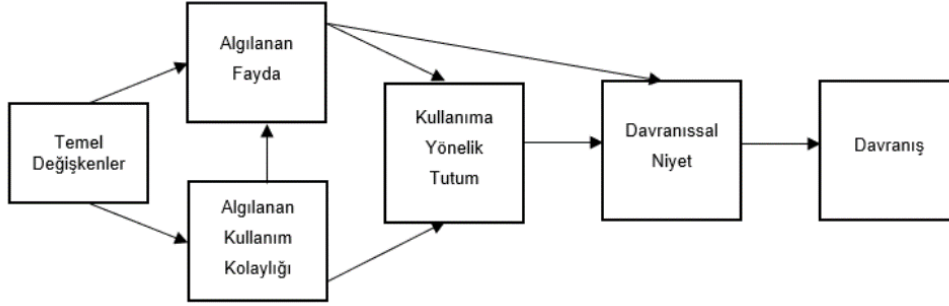
TKM'nin, uzun yıllar yaygın olarak kullanılması öğrenciler, tüketiciler, öğretmenler ve diğer tüm kullanıcılar tarafından teknolojinin kabulünü araştırmak için önde gelen bir bilimsel paradigma olarak ortaya çıktığını göstermiştir (Granić ve Marangunić, 2019). Buna ek olarak bu modelin bilişim teknolojilerinin kabul edilmesi ve kullanılmasıyla ilgili en fazla tercih edilen model olduğu görülmektedir (Çelik ve Taş, 2021)

TKM'nin temeli sebepli davranış teorisine dayanmaktadır (Rafique ve diğerleri, 2020, s. 3; Yıldırım ve Kaplan, 2019, ss. 26-27). Sebepli davranış teorisine göre insanların belirli bir davranış gerçekleştirme niyeti, eylemin temel belirleyicisi olup niyet ise tutum ile öznel normlar tarafından belirlenmektedir (Topal, Günay, Uğur ve Aydın, 2020, s. 87). Davis sebepli davranış teorisini algılanan fayda, algılanan kullanım kolaylığı, niyet, kullanıcı tutumu ve gerçekleşen davranışlar arasındaki ilişkileri analiz ederek bireylerin teknolojiyi benimsemesini açıklamak için kullanmıştır (Davis, 1989). TKM nedensel bağlantıların bir dizi inanç, tutum, niyet ve davranışa bağlı olarak gerçekleştiğini teorileştirmektedir. Bir bireyin gerçek sistem uygulama gibi teknolojik araçları kullanımını incelemek için, çoğu çalışma, bireyin sistemi kabul etme niyetini etkileyen faktörlere odaklanmaktadır (Lin ve diğerleri, 2011, ss. 272-273).

Önceki araştırmalar, algılanan kullanım kolaylığının ve algılanan kullanım kolaylığının, bir kullanıcının teknoloji kabulünü belirleyen iki etkili faktör olduğunu göstermektedir (Lin ve diğerleri, 2011). TKM'nin temel amacı; mümkün olan en az değişken sayısıyla, bilgi sistem(ler)i ve teknolojiyi kullananların davranışlarının, tutumlarının ve teknolojiyi benimsemelerinde etkili olan faktörlerin teorik açıdan doğrulanmış model yardımıyla çözülebilesidir (Davis, 1989; Yıldırım ve Kaplan, 2019, ss. 26-27). TKM, bireylerin teknoloji tercihlerinin belirlenmesi, bireylerin teknoloji kullanımına gösterdikleri direnç nedenlerinin açıklanması, gerçekleşen değişimlere verebilecekleri tepkilerin ortaya koyulabilmesi gibi amaçlarla geliştirilmiştir (Uğur ve Turan, 2016, s. 103). TKM'da algılanan kullanım kolaylığı/fayda ve algılanan kullanım kolaylığı, teknolojiyi kullanma niyetini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, algılanan



fayda, algılanan kullanım kolaylığından doğrudan etkilenmektedir (Joo, Park ve Lim, 2018, s. 51).



**Kaynak:** Davis, F. D., Bagozzi, R. P. ve Warshaw, P. R. (1989). User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. Management Science, 35(8), 982-1003.

Şekil 1 Teknoloji Kabul Modeli

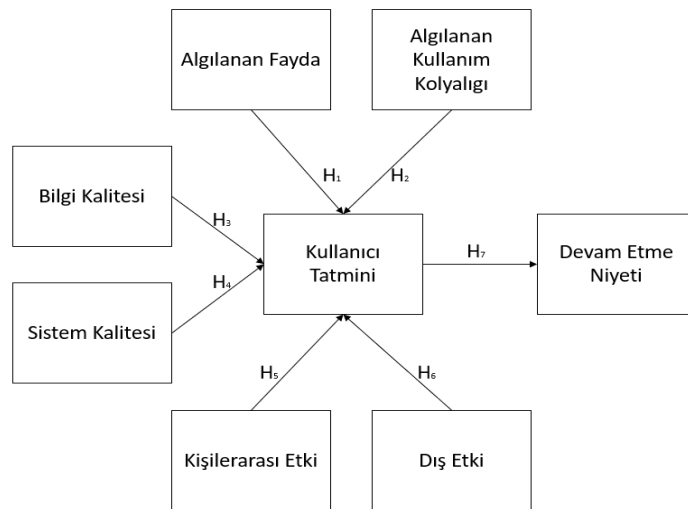
### 3. Yöntem

Bu bölümde öncelikle önerilen model ve araştırma hipotezlerine değinilmiştir. Devamında ampirik metodolojiye yer verilmiştir. Bölümün sonraki kısmı araştırmada elde edilen sonuçlara ayrılmıştır ve bu sonuçlar yorumlanmıştır. Araştırmaya ait veriler 1 Şubat 2019 ve 30 Nisan 2019 tarihleri arasında toplanmıştır. Bu çalışmada kullanılan ölçekler, konu ile ilgili önceki çalışmalardan uyarlanarak elde edilmiştir. Algılanan kullanım kolaylığı ve algılanan fayda ve öğeleri Davis (1989)'dan uyarlanmıştır. Sistem kalitesi ve bilgi kalitesi ve ölçekleri Bailey ve Pearson (1983), Delone ve McLean (1992) ve Baroudi ve Orlikowski (1988)'den elde edilmiştir. Kişilerarası etki ve dış etki Bhattacherjee (2000)'den uyarlanmıştır. Tatmin ölçeği Oliver

(1980) ve Spreng ve ark. (1996)'dan uyarlanmıştır. Devam etme niyeti ölçeği ise Mathieson (1991) ve Bhattacherjee (2001)'den uyarlanmıştır. Cevaplar 5'li likert ölçeği ile alınmıştır. (1=Kesinlikle Katılmıyorum, 2=Katılmıyorum, 3=Kısmen Katılıyorum, 4=Katılıyorum, 5=Kesinlikle Katılıyorum şeklinde).

### 3.1. Önerilen Model ve Araştırma Hipotezleri

Bu araştırmada E-devlet sisteminin kullanan kullanıcıların tatminini anlamak amacıyla, tatminin olası belirleyicileri olarak çeşitli özellikler ele alınarak bir araştırma modeli önerilmektedir. Modelin temel varsayımı, E-devlet sisteminden memnuniyetin algılanan kalite ve algılanan kullanılabilirlik ve kişisel norm tarafından belirlendiğidir. Önerilen araştırma modeli Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Önerilen araştırma modeli

Etimologlar, satisfaction sözcüğünün, latince satis (yeterli, kâfi) ve facere (başarmak-sağlamak) köklerinden türetilmiş bir kelime olduğunu ifade etmektedir. Basit anlamda, kelimenin kökleri dikkate alındığında, ürün ya da hizmet tatmininin temel tanımı, yeterliliğin arandığı noktanın sağlanması olarak ifade edilmektedir (Çelik, 2021). Literatürde müşteri tatmini, müşteri sadakatinin ana belirleyicisi olarak görülmüş ve pazarlamacılar ve araştırmacılar tarafından müşteri sadakatine yol açan başlıca faktörler keşfetmeye çalışılmıştır (Rezaei ve Amin, 2013). Kullanıcı tatmini ilgili yapılan çalışmalar da bu çabaların sonucudur. Yapılan bu çalışmalar değerlendirildiğinde algılanan fayda değişkeni tatmin değişkeni üzerinde pozitif ve anlamlı etkiye sahip olduğu görülmektedir. (Natarajan, Balasubramanian ve Kasilingam, 2017) tarafından yapılan çalışmada bireylerin, mobil alışveriş uygulamalarının alışveriş performanslarını arttırdığına ve kendilerine fayda sağladığına inandıklarında, bu uygulamalara karşı olumlu tatmin duygusu geliştirdiği sonucuna ulaşılmıştır (Natarajan, Balasubramanian ve Kasilingam, 2017). Yine benzer biçimde Cep telefonu kullanıcılarının Mobil web sitelerine yönelik çalışmada algılanan fayda değişkeni tatmin değişkeni üzerinde pozitif etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur (Amin, Rezaei ve Abolghasemi, 2014). Literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde algılanan fayda değişkeni tatmin değişkeni üzerinde pozitif ve anlamlı etkiye sahiptir. Literatürdeki bu çalışmalar dikkate alınarak aşağıdaki hipotez oluşturulmuştur.

H1: Algılanan faydanın, E-devlet sistemi kullanıcılarının tatmini üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır.

(Amin ve diğerleri, 2014)'nin tarafından yapılan Cep telefonu kullanıcılarının Mobil web sitelerine yönelik tutumlarının değerlendirildiği çalışmada Algılanan kullanım kolaylığının değişkeni kullanıcılarının tatmini değişkeni üzerinde pozitif etkiye sahip olduğunu ortaya konmuştur (Amin ve diğerleri, 2014). Literatür değerlendirildiğinde algılanan fayda değişkeni tatmin değişkeni üzerinde pozitif ve anlamlı etkiye sahiptir. Literatürdeki bu çalışmalar dikkate alınarak aşağıdaki hipotez oluşturulmuştur.

H2: Algılanan kullanım kolaylığının, E-devlet sistemi kullanıcılarının tatmini üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır.

Mobil hizmetler hem eğlence hem de iş dünyasında günlük yaşamda giderek daha büyük bir yer edinmekte ve büyük kolaylıklar sağlamaktadır (Koivumäki, Ristola ve Kesti, 2008). (Koivumäki ve diğerleri, 2008) tarafından gerçekleştirilen bilgi kalitesinin farklı boyutlarının tüketicilerin mobil bilgi hizmetlerine yönelik tatmini ve nihayetinde bu hizmetlerin kabulünü nasıl etkilediğine odaklandığı çalışmada, bilgi kalitesinin boyutların hem faydacı hem de hedonik kullanım bağlamlarında tüketici tatminini nasıl etkilediği analiz edilmiştir. Sonuçlar, tüm bilgi kalitesi boyutlarının kullanıcı tatmini ile istatistiksel olarak anlamlı bir pozitif ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir. Kullanıcı tatmininin de bir hizmeti tekrar kullanma niyeti ile pozitif bir ilişkisi vardır. Sonuçlar ayrıca içeriğin hedonik hedefleri olan kullanıcılar için daha önemli olduğunu göstermektedir. (Song, Migliaccio, Wang ve Lu, 2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada bilgi kalitesinin tüketici tatmini üzerinde anlamlı bir pozitif etkiye sahip olduğunu göstermiştir. (C.-C. Lin, Wu ve Chang, 2011) tüketici tatmini bilgi kalitesinden pozitif ve anlamlı olarak etkilenmektedir. Ayrıca (DeLone ve McLean, 1992) gerçekleştirdiği çalışmada bilgi kalitesinin tüketici tatmini üzerinde anlamlı etkiye sahip

olduğunu gösteren birçok çalışmayı sunmuştur. Literatürdeki bu çalışmalar dikkate alınarak aşağıdaki hipotez oluşturulmuştur.

H3: Bilgi kalitesinin, E-devlet sistemi kullanıcılarının tatmini üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır.

(C.-C. Lin ve diğerleri, 2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmada sistem kalitesinin tüketici tatmini üzerinde anlamlı bir pozitif etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Benzer biçimde (Nirwanto ve Andarwati, 2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada sistem kalitesinin tüketici tatmini üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca (DeLone ve McLean, 1992) gerçekleştirdiği çalışmada sistem kalitesinin tüketici tatmini üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu gösteren birçok çalışmayı sunmuştur. Literatürdeki bu çalışmalar dikkate alınarak aşağıdaki hipotez oluşturulmuştur.

H4: Sistem kalitesinin, E-devlet sistemi kullanıcılarının tatmini üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır.

(Hsu ve Chiu, 2004) tarafında yaptığı çalışmada elde edilen bulgular, e-hizmet devam niyeti için kişilerarası etkinin önemini doğrulamakta ve ilk benimsemeyen sonra, kişilerarası etki, e-hizmet kullanımından memnuniyet duygusu üzerinde daha güçlü bir etki yapacağını ortaya koymuştur. Literatürdeki bu çalışmalar dikkate alınarak aşağıdaki hipotez oluşturulmuştur.

H5: Kişilerarası etkinin, E-devlet sistemi kullanıcılarının tatmini üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır.

Kişilerarası etki, arkadaşlar, meslektaşlar ve üstler tarafından ağızdan ağıza etkiyi ve kişisel bilgileri belirtirken, dış etki, kitle iletişim raporlarını, uzman görüşlerini ve bir davranışı gerçekleştirirken bireyler tarafından dikkate alınan diğer kişisel olmayan bilgileri göstermektedir. (H.-F. Lin, 2007; Ruiz-Mafe, Tronch ve Sanz-Blas, 2016; Zhou, 2017). (Hsu ve Chiu, 2004) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi bazı çalışmalarda kişilerarası etkinin, memnuniyet üzerinde dış etkenlerden daha güçlü bir etkiye sahip olduğunu gösterilmiştir (Roca, Chiu ve Martínez, 2006). Yapılan başka bir çalışmada ise kişilerarası etkinin memnuniyeti etkileyen faktörlerden biri olduğu tespit edilmiştir (Çelik ve Sökmen, 2018b). Ancak, E-devlet kullanıcı tatminine yönelik bilimizi geliştirmek ve bu değişkenlerin ilişkisinin incelenmesinin literatüre katkı sunacağını düşündüğümüz için bu ilişkiyi incelemeyi öneriyoruz ve aşağıdaki hipotezi yapıyoruz:

H6: Dış etkinin, E-devlet sistemi kullanıcılarının tatmini üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır.

(Koivumäki ve diğerleri, 2008) tarafından gerçekleştirilen bilgi kalitesinin farklı boyutlarının tüketicilerin mobil bilgi hizmetlerine yönelik tatmini ve nihayetinde bu hizmetlerin kabulünü nasıl etkilediğine odaklandığı çalışmada, kullanıcı tatmininin bir hizmeti tekrar kullanma niyeti ile pozitif bir ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sonuçlar ayrıca içeriğin hedonik hedefleri olan kullanıcılar için daha önemli olduğunu göstermektedir. (Rezaei ve Amin, 2013) tarafından gerçekleştirilen ve odak noktasını, Malezya'daki üniversite öğrencilerinin çevrimiçi yeniden satın alma niyetinin öncüllerini araştırdığı çalışmada tahminin, yeniden satın alma niyetinde pozitif anlamlı olarak etkili olan faktörler arasında yer aldığı sonucuna ulaşılmıştır. (Agrebi ve Jallais, 2015) Kullanıcı tatmininin tekrar kullanmayı olumlu etkilediğini bulmuşlardır. Literatürdeki bu çalışmalar dikkate alınarak aşağıdaki hipotez oluşturulmuştur.

H7: Kullanıcı tatmininin, E-devlet sistemi kullanıcılarının sistemi kullanmaya devam etme niyeti üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır.

### 3.2. Amprik Metodoloji

Önceki bölümde belirtilen hipotezleri test etmek amacıyla E-devlet sistemi kullanıcılarına bir anket uygulanmıştır. Bahsi geçen anket Google Formlarda oluşturulmuş ve bir ankete ait bir link elde edilmiştir. Elde edilen anket linki E-devlet sistemi kullanıcılarına farklı elektronik iletişim yollarıyla ulaştırılmıştır. Bunun neticesinde 1427 anket verisi elde edilmiştir (N=1427). Bu çalışmada demografik bilgilerin oluşturulması, doğrulayıcı faktör analizi ve yapısal eşitlik modeli analizi R programı ile yapılmıştır. Çalışmada R programının kullanılmasının sebebi R'in güçlü bir istatistiksel analiz aracı olmasıdır (Çelik ve diğ., 2018).

Araştırmada kullanılan ölçeklerin güvenilirlikleri ve korelasyon matrisinin oluşturulması için ise SPSS 18 programı kullanılmıştır.

### 3.3. Veri Analizi ve Araştırma Bulguları

Araştırma modelini test etmek için kullanılan veriler E-devlet sistemi kullanıcılarına çevrimiçi anket oluşturularak uygulanmıştır. Araştırmanın amacı ve kimler tarafından yapıldığını açıklayan ve içinde demografik bilgiler, algılanan fayda, algılanan kullanım kolaylığı, bilgi kalitesi, sistem kalitesi, kişilerarası etki, dış etki, kullanıcı tatmini ve devam etme niyeti ölçeklerinden meydana gelen kapsamlı bir anket oluşturulmuştur. Yapılan araştırmaya katılan bireylere ait demografik veriler Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Katılımcılara ait demografik bilgiler

	Gruplar	Frekans	Yüzde
Cinsiyet	Erkek	561	39.4
	Kadın	866	60.6
Yaş	18-23 arası	869	60.9
	24-30 arası	395	27.7
	31-37 arası	64	4.5
	38-45 arası	62	4.4
	46 ve üzeri	37	2.5
Medeni Hal	Evli	249	17.4
	Bekar	1178	82.6
Eğitim Durumu	Lise	378	26.5
	Ön Lisans	212	14.9
	Lisans	810	56.8
	Lisansüstü	27	1.8
Aylık Gelir	0-1000₺	820	57.5
	1001₺-3000₺	364	25.5
	3001₺-5000₺	166	11.7
	5001₺ ve üzeri	77	5.3
E-devlete giriş için genellikle kullanılan cihaz	Cep telefonu	1146	80
	Bilgisayar	253	17.7
	Diğer	28	2.3
E-devleti kullanma süresi	0 ile 1 sene arası	177	12.4
	1 ile 3 sene arası	509	35.7
	3 ile 5 sene arası	354	24.9
	5 sene üstü	387	27
Toplam		1427	100

Çalışmaya katılan bireylere ait demografik verilerin frekans-yüzde dağılımları Tablo 1'deki gibidir. Buna göre cinsiyet dağılımları incelendiğinde katılımcıların %60,6'sının kadın (n=866), %39,4'nün ise erkek (n=561) olduğu görülmüştür. Katılımcılar yaş açısından incelendiğinde ise %60,9'nun (n=869) 18-23 yaşlar arasında, %27,7'sinin (n=395) 24-30 yaşlar arasında, %4,5'unun (n=64) yaşlar arasında, %4,4'ünün (n=62) yaşlar arasında, %2,5'nun ise 46 yaş ve üzerinde olduğu görülmüştür. Medeni hal açısından bakıldığında katılımcıların %17,4'nün (n=249) evli, %82,6'sının (n=1178) ise bekar olduğu tespit edilmiştir. Katılımcılar eğitim durumu bakımından ele alındığında %26,5'inin (n=378) lise mezunu, %14,9'unun (n=212) önlisans mezunu, %56,8'inin (n=810) lisans mezunu olduğu, %1,8'inin (n=27) lisansüstü mezunu olduğu görülmüştür. Aylık gelir

durumlarına göre katılımcıların %57,5'nun (n=820) 0-1000₺ aralığında olduğu, %25,5'nun (n=364) 1001₺-3000₺ aralığında olduğu, %11,7'sinin (n=166) 3001₺-5000₺ aralığında olduğu, %5,3'nün ise 5001₺ ve üzeri olduğu tespit edilmiştir. Kullanıcıların E-devlet sistemine girişte genellikle kullandıkları cihazlar incelendiğinde %80'nin (n=1146) cep telefonu kullandığı, %17,7'nin (n=253) bilgisayar kullandığı, %2,3'ün (n=28) ise farklı cihazlar kullandığı görülmüştür. Kullanıcıların E-devlet sistemini kullanma süreleri incelendiğinde %12,4'nün (n=177) 0 ile 1 sene arası, %35,7'nin (n=509) 1 ile 3 sene arası, %24,9'nun (n=354) 3 ile 5 sene arası, %27'sinin (n=387) ise 5 sene üstünde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 2. Uyum iyiliği değerleri (Şimşek, 2007; Meydan ve Şeşen, 2011)

Uyum indeksi	Değer	İyi uyum değerleri	Kabul edilebilir uyum değerleri	Sonuç
Ki kare/sd	1655.579/377=4,39	<3	<5	Kabul edilebilir uyum
CFI	0.964	>0.97	>0.95	Kabul edilebilir uyum
RMSEA	0.049	<0.050	<0.080	İyi uyum
TLI	0.958	>0.95	>0.90	İyi uyum
NFI	0.954	>0.95	>0.90	İyi uyum
RFI	0.946	>0.95	>0.90	Kabul edilebilir uyum
RNI	0.964	>0.95	>0.90	İyi uyum
GFI	0.924	>0.90	>0.85	İyi uyum
AGFI	0.906	>0.90	>0.85	İyi uyum
IFI	0.964	>0.95	>0.90	İyi uyum

Çalışmaya ait uyum iyiliği değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir. Çalışmada incelenen uyum iyiliği indisleri şunlardır: Ki kare uyum testi / Serbestlik derecesi (X<sup>2</sup>/sd), Karşılaştırmalı Uyum İndeksi (CFI-Comperative Fit Index), Yaklaşık Hataların Ortalama Karekökü (RMSEA-Root Mean Square Error of Approximation), Normlaştırılmış Uyum İndeksi (NFI-Normed Fit Index), Göreli Merkezi Olmayan İndeks (RNI, Relative Noncentrality Index), Göreli Uyum İndeksi (RFI-Relative Fit

Index), İyilik Uyum İndeksi(GFI, Goodness of Fit İndex), Normlaştırılmamış Uyum İndeksi (TLI -Tucker-Lewis İndeksi), Fazlalık Uyum indeksi (IFI, Incremental Fit Index) ve Düzeltilmiş İyilik Uyum İndeksi(AGFI, Adjustment Goodness of Fit İndex). Sonuçlar incelendiğinde bütün uyum iyiliği değerlerinin kabul edilebilir uyum veya iyi uyum gösterdiği görülmektedir. Buna göre toplanan veriler ile önerilen modelin uyumlu olduğunu söylenebilmektedir.

Tablo 3. Cronbach alpha, AVE, CR değerleri ve korelasyon matrisi

	$\alpha$	AVE	CR	1	2	3	4	5	6	7	8
1-AF	0.891	0.734	0.892	(0.856)							
2-AKK	0.916	0.734	0.917	0.629**	(0.856)						
3-BK	0.912	0.677	0.913	0.649**	0.627**	(0.822)					
4-SK	0.883	0.574	0.889	0.544**	0.600**	0.731**	(0.757)				
5-KE	0.905	0.768	0.908	0.511**	0.448**	0.578**	0.622**	(0.876)			
6-DE	0.842	0.647	0.846	0.509**	0.468**	0.615**	0.659**	0.708**	(0.804)		
7-TAT	0.888	0.724	0.887	0.676**	0.633**	0.741**	0.703**	0.670**	0.707**	(0.850)	
8-DEN	0.899	0.752	0.901	0.634**	0.568**	0.678**	0.654**	0.681**	0.683**	0.812**	(0.867)

$\alpha$ : Cronbach Alpha Katsayısı; AVE: Ayıklanmış Ortalama Varyans; CR: Yakınsama Geçerliliği; Parantez içindeki değerler AVE değerlerinin kareköküdür; AF: Algılanan Fayda; AKK: Algılanan Kullanım Kolaylığı; BK: Bilgi Kalitesi; SK: Sistem Kalitesi; DE: Dış Etki; KE: Kişiler Arası Etki; TAT: Tatmin; DEN: Devam Etme Niyeti; \*\*p<0.01

Çalışmada kullanılan ölçeklerin Cronbach Alfa Güvenilirlik Katsayısı, Ayıklanmış Ortalama Varyans (AVE-Average Variance Extracted), Kompozit Güvenirlik (CR- Composite Reliability or Construct Reliability) ve korelasyon matrisi Tablo 3’teki gibidir. Buna göre tüm ölçeklerin Cronbach Alfa katsayısının 0.842 ile 0.916 arasında değerler aldığı görülmektedir. Cronbach Alfa katsayısının 0.7’den büyük olması gerekmektedir (Nunally, 1978; Iacobucci ve Duhackek, 2003). Elde edilen sonuçlar ölçeklerin güvenilirliklerinin oldukça yüksek olduğu göstermektedir.

Yakınsama geçerliliği için AVE’nin 0.5’ten yüksek olması ve CR’nin AVE’den büyük olması gerekmektedir (Hair ve diğ., 2010; Fornell ve Larcker,1981). Tablo 3 incelendiğinde AVE değerlerinin 0.574 ile 0.768 arasında değerler aldığı görülmektedir. Dolayısıyla tüm değerler 0.50’den yüksektir. Ayrıca tüm ölçeklerin CR değerlerinin AVE’den yüksek olduğu

görülmektedir. Bu durum ölçeklerin geçerliliklerinin yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca ölçeklere ait yapıların ayrışma geçerliliği incelenmiştir. Ayrım geçerliliğinin sağlanabilmesi için AVE değerlerinin kareköklerinin, ilgili değişkenin diğer değişkenlerle olan korelasyon değerinden yüksek olması gereklidir. Her yapı için AVE değerlerinin karekökünün, yapılar arasındaki korelasyondan büyük olduğu Tablo 3’te görülmektedir. Bu durum ayrım geçerliliğinin sağlandığını göstermektedir (Hair vd., 2010).

Yapılar arasındaki ilişkileri görmek için korelasyon analizi yapılmıştır. Bunun sonucunda tüm yapılar arasında anlamlı (p<0.01) ve pozitif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Yapılar arasındaki en güçlü ilişkinin Tatmin ile Devam Etme Niyeti arasında (r=0.812, p<0.01), en zayıf ilişkinin ise Algılanan

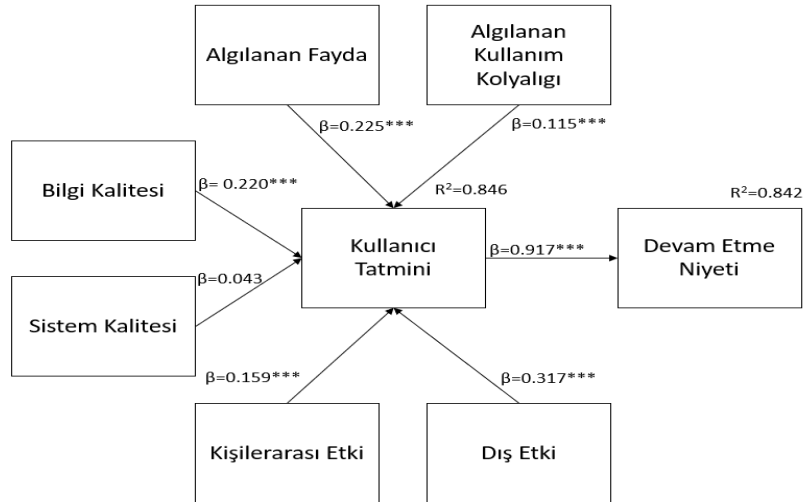


Kullanım Kolaylığı ile Kişilerarası Etki arasında ( $r=0.448$ ,  $p<0.01$ ) olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4: Yapısal eşitlik modeli analizi

Hipotez	Standardize $\beta$	p	Desteklenme/Red
H1: Algılanan faydanın, E-devlet sistemi kullanıcılarının tatmini üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır.	0.225	0.000	Desteklendi
H2: Algılanan kullanım kolaylığının, E-devlet sistemi kullanıcılarının tatmini üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır.	0.115	0.000	Desteklendi
H3: Bilgi kalitesinin, E-devlet sistemi kullanıcılarının tatmini üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır.	0.220	0.000	Desteklendi
H4: Sistem kalitesinin, E-devlet sistemi kullanıcılarının tatmini üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır.	0.043	0.251	Reddedildi
H5: Kişilerarası etkinin, E-devlet sistemi kullanıcılarının tatmini üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır.	0.159	0.000	Desteklendi
H6: Dış etkinin, E-devlet sistemi kullanıcılarının tatmini üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır.	0.317	0.000	Desteklendi
H7: Kullanıcı tatmininin, E-devlet sistemi kullanıcılarının sistemi kullanmaya devam etme niyeti üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır.	0.917	0.000	Desteklendi

Yapısal eşitlik modeli analizi sonucunda desteklenen ve reddedilen hipotezler Tablo 4’de görülmektedir. Buna göre H1, H2, H3, H5, H6, H7 desteklenmiş, H4 ise reddedilmiştir.



Şekil 3. Yapılar arasındaki standardize  $\beta$  katsayıları ve  $R^2$  değerleri (\*\* $p<0,001$ )

Değişkenler arasındaki  $\beta$  katsayıları ve  $R^2$  değerleri Şekil 3’te görülmektedir. Buna göre kullanıcı tatmini %84.6 oranında ( $R^2=0.846$ ) algılanan fayda, algılanana kullanım kolaylığı, bilgi kalitesi, kişilerarası etki ve dış etki tarafından açıklandığı görülmektedir. Ayrıca devam etme niyeti %84.2 ( $R^2=0.842$ ) oranında kullanıcı tatmini tarafından açıklandığı belirlenmiştir.

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Teknoloji alanında gerçekleşen hızlı değişim ve gelişmeler hayatın her alanında etkisini göstermektedir. Bu değişim ve gelişim devletlere kamu yönetimine dair işlemleri internet üzerinden yapabilme imkânı sağlamıştır. Böylece E-devlet sistemi ortaya çıkmıştır. E-devlet ile kamu hizmetleri daha etkin ve verimli bir biçimde verilebilmektedir. Her geçen gün daha

fazla hizmet E-devlet sistemi içerisinde yer almaktadır. Bu sayede vatandaşların E-devlet üzerinden işlemlerini kolaylıkla yapması sağlanmaktadır. Tüm bilgi sistemlerinde olduğu gibi, E-devlet sisteminde de kullanıcıların memnuniyeti ve sistemi kullanmaya devam etme niyetini etkileyen faktörlerin araştırılması önem arz etmektedir.

Bu çalışmada E-devlet sistemi kullanıcılarının memnuniyetini ve kullanmaya devam etme niyetini etkileyen faktörlerin neler olduğu araştırılmıştır. Bunun için bir araştırma modeli önerilmiş ve E-devlet kullanıcıları üzerinde test edilmiştir. Buna göre e devlet sistemi kullanıcı tatmininin olası belirleyicileri olarak sistem kalitesi, algılanan kullanım kolaylığı, algılanan fayda, bilgi kalitesi, dış etki ve kişilerarası etki belirlenmiştir.

Bulgular incelendiğinde kullanıcı tatmini üzerinde en fazla etkinin dış etki olduğu görülmektedir. Bu bağlamda E-devlet sisteminde bulunan hizmetlerin bilinirliğinin artırılması gerekmektedir. Bunun için reklamlar yapılmalı, hizmetlerin bireylere faydalarının gösterilmesi önem arz etmektedir. Ayrıca E-devlet sisteminin kamu işlemlerini gerçekleştirmek için iyi bir yöntem olduğuna dair kamu spotları başta olmak üzere yazılı ve görsel basında haberler yapılmalı ve vatandaşların bu konudaki bilgisi artırılmalıdır. Kamu kurumları E-devlet üzerinden sundukları hizmetleri tüm vatandaşlara etkin bir şekilde duyurmalıdır. Bireylere, kamu kurumlarında E-devletin kullanımına ilişkin kitapçık, broşür, bilgilendirme notu gibi dökümanlar dağıtılmalıdır. İnsanların E-devlet sistemine karşı tutumlarını olumsuz yönde etkileyebilecek internette ve sosyal medyada ortaya çıkabilecek yanlış bilgilere karşı idari merciler gerekli önlemleri almalıdırlar.

Kullanıcı tatmini üzerinde etkili en güçlü faktörlerden biri de algılanan faydadır. Bu sonuç Seyhun & Kurtuldu (2020), Amin vd. (2014) ile Rezaei & Amin (2013) tarafından yapılan çalışmalarda elde edilen bulgularla benzerlik göstermektedir. Bireyler E-devletin kendileri için ne kadar faydalı olduğunu bilirlerse o derece memnun olmaktadır. Bu bağlamda vatandaşların işlemlerini devlet dairesine gitmeden, E-devlet sistemi üzerinden kamu işlemlerini kolaylıkla, haftanın hergünü yirmi dört saat erişerek yapabilecekleri konusunda bilgilendirilmelidir. İnsanlar kamu dairesine bizzat gitmeyi tercih edebilmektedir. Bu konuda vatandaşlar E-devlet sisteminin daha güvenli ve pratik olduğu konusunda bilgilendirilirse, sistemden algıladıkları faydanın derecesi artacaktır. E-devlet üzerinden edinilen bilgi ve belgelerin tüm kurumlar için geçerli olması gerekmektedir. Böylece kurum çalışanlarının iş yükü azalırken vatandaşın işlemleri yapması hız kazanacaktır. Bu durumda hem zaman tasarrufu hem de kâğıt tasarrufu sağlanacaktır.

Bilgi kalitesi kullanıcı tatmini üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkiye sahiptir. Elde edilen bu sonuç Koivumäki vd. (2008), Song vd., (2017), Lin vd. (2011) ile Machado-Da-Silva vd., (2014)'nın çalışmalarında ulaştıkları sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Buna göre E-devlet sisteminin bilgiyi zamanında, kolay ve eksiksiz bir biçimde iletmediği görülmektedir. Ayrıca bireyler ihtiyacı olan bilgilere gelişen teknoloji yardımıyla E-devlet üzerinden kolaylıkla ulaşabilmektedir.

Kullanıcı tatmini üzerinde etkili bir diğer faktör ise kişilerarası etkidir. Bu sonuç Hsu & Chiu (2004) tarafından yapılan çalışmada elde edilen bulgularla benzerlik göstermektedir. Buna göre vatandaşlar, çevrelerinde kamusal işlemlerini E-devlet üzerinden çözen bireyler gördüklerinde E-devlet sisteminden memnuniyetleri artmaktadır.

Bu çalışmada algılanan kullanım kolaylığının kullanıcı tatmini üzerinde en az etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Amin vd., (2014), Rezaei & Amin, (2013) ile Seyhun & Kurtuldu, (2020) tarafından yapılan çalışmalarda ulaşılan sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Yeni teknolojilerin kullanımının kolay olması kullanıcı tatmin duygusunu olumlu etkilemesine karşın zamanla söz konusu teknolojiye alışmayla beraber kullanımının kolay olmasının önemi azalarak tatmin duygusu üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı (Seyhun ve Kurtuldu, 2020, ss. 617-619) düşünülmektedir.

Lin vd., (2011) ile Nirwanto ve Andarwati, (2019) sistem kalitesinin kullanıcı tatmini üzerinde bir etkisinin olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ancak bu çalışmada Song vd., (2017) bulgularıyla benzer biçimde sistem kalitesinin kullanıcı tatminini

etkilemediği sonucuna varılmıştır. Bu sonucun vatandaşların mevcut sistemden aldıkları hizmetin hız, kolaylık, hiyerarşik yapı gibi özellikler bakımından beklentilerinin üzerinde olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kullanıcı tatmininin, vatandaşların E-devlet sistemini kullanmaya devam etme niyeti üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisinin olduğu görülmüştür. Bu sonuç Koivumäki vd. (2008), Rezaei & Amin (2013), Agrebi & Jallais (2015) ve Çelik & Sökmen (2018-b) tarafından yapılan çalışmalarda elde edilen bulgularla benzerlik göstermektedir. Kullanıcılar bir sistemden ne kadar memnun olurlarsa o derecede sistemi kullanma alışkanlıkları artmaktadır.

Vatandaşların E-devlet sistemine verdikleri tepkiler doğru algılanmalıdır. Böylece bu tepkilere yönelik ilgili şahıs ve/veya kurumların iyileştirme çalışmaları yapması gerekmektedir. Bireylerin E-devlet sistemi sayesinde alabileceği hizmetlerin neler olduğuna dair tanıtıcı reklamlar ve bilgilendirmeler yapılmalıdır. Bireylerin devlet dairelerine gitmeden E-devlet sistemi üzerinden alabilecekleri hizmetler artırılmalıdır. Bu tepkilere doğru iyileştirmeler yapılmalı ve E-devletin kullanımı ve kullanmayan vatandaşların kullanması artırılmalıdır.

Gelecek çalışmalarda araştırma modeline gizlilik, güvenlik, tasarruf, yeterlilik, erişilebilirlik gibi boyutlar eklenerek daha kapsamlı sonuçlar elde edilebilir.

## Kaynakça

- Acılar, A. (2015). Türkiye’de İşletmeler Sayısal Uçurumun Neresinde? (The Digital Divide in Enterprises in Turkey). Ulusal Yönetim Bilişim Sistemleri Kongresi, sunulmuş bildiri, Erzurum: Social Science Research Network. <https://papers.ssrn.com/abstract=2716252> adresinden erişildi.
- Agrebi, S. & Jallais, J. (2015). Explain the intention to use smartphones for mobile shopping. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 22, 16-23. doi:10.1016/j.jretconser.2014.09.003
- Akbıyık, A., & Coşkun, E. (2012). Uzaktan Eğitim Ortamlarında Sosyal Yazılım Kullanımının Kabulünü Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma. *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 45-68.
- Akçakaya, D. (2017). E-Devlet Anlayışı ve Türk Kamu Yönetiminde E-Devlet Uygulamaları. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (3), 8-31.
- Al-Emran, M., Mezhyuev, V., & Kamaludin, A. (2018). Technology Acceptance Model in M-learning context: A systematic review. *Computers & Education*, 125, 389-412.
- Amin, M., Rezaei, S. & Abolghasemi, M. (2014). User satisfaction with mobile websites: The impact of perceived usefulness (PU), perceived ease of use (PEOU) and trust. *Nankai Business Review International*, 5(3), 258-274. doi:10.1108/NBRI-01-2014-0005.
- Bailey, J. E., Pearson, S.W. (1983). “Development of a Tool for Measuring and Analyzing Computer User Satisfaction”, *Management Science*, 29(5), 530-545.
- Baroudi, J. J., Orlikowski, W. J. (1988). A Short Form Measure of User Information Satisfaction: A Psychometric Evaluation and Notes on Use, *Journal of Management Information Systems*, 4(4), 44-59.

- Behan, K., Holmes, D. (1990). *Understanding Information Technology*, Printice Hall, 2nd ed. NY, 1990
- Bhattacharjee, A. (2000). Acceptance of Internet Applications Services: The Case of Electronic Brokerages, *IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems and Humans*, 30, 411–420.
- Bhattacharjee, A. (2001). An Empirical Analysis of the Antecedents of Electronic Commerce Service Continuance, *Decision Support Systems*, 32(29), 201–214.
- Çelik K., Özköse, H. & Güleriyüz, S. (2018). R ile Yapısal Eşitlik Modeli, *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 5(10), 38-48.
- Çelik, K. & Sökmen, A. (2018a). Algılanan Performansın E-Öğrenme Kullanıcılarının Memnuniyetleri Üzerindeki Etki. *Journal of Turkish Studies*, 13(21), 73-92. <https://doi.org/10.7827/TurkishStudies.13574>
- Çelik, K. & Sökmen, A. (2018b). Uzaktan Eğitime Devam Etme Niyetinin Anlaşılması: Genişletilmiş Teknoloji Kabul Modeli, *Yönetim, Ekonomi ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 2(3), ss. 1-23, DOI: 10.29226/TR1001.2018.21
- Çelik, K. & Taş, A. (2021), E-Ticarete Mobil Alışveriş Uygulamalarını Kullanmaya Devam Etme Niyetinin Araştırılması: Genişletilmiş Teknoloji Kabul Modeli, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 56(3), 1997- 2019.
- Çelik, K. (2021), The Effect of E-Service Quality and After-Sales E-Service Quality on E-Satisfaction, *Bmij*, 9(3): 1137-1155, doi:<https://doi.org/10.15295/bmij.v9i3.1898>
- Davis, F. D. (1986). *A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results* (Doctoral dissertation). MIT Sloan School of Management, Cambridge, MA.
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use and User Acceptance of Technology, *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340.
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, 35(8), 982-1003.
- DeLone, W. H. & McLean, E. R. (1992). Information Systems Success: The Quest for the Dependent Variable. *Information Systems Research*, 3(1), 60-95.
- Demirhan, Y., & Türkoğlu, İ. (2014). Türkiye’de E-devlet Uygulamalarının Bazı Yönetim Süreçlerine Etkisinin Örnek Projeler Bağlamında Değerlendirilmesi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 10(22), 235-256.
- Doğan, K. & Ustakara, F. (2013). Kamuda Bir Yapılanma Dönüşümü Olarak E-Devlet ve E-Yönetişim İlişkisi Üzerine. *Global Journal of Economics and Business Studies*, 2 (3), 1-11. Retrieved from <http://dergipark.org.tr/gumusgjebs/issue/7489/98694>
- Elbahnasawy, N. G. (2014). E-Government, Internet Adoption, and Corruption: An Empirical Investigation, *World Development*, Volume 57, Pages 114-126.
- Estriegana, R., Medina-Merodio, J.-A. & Barchino, R. (2019). Student acceptance of virtual laboratory and practical work: An extension of the technology acceptance model. *Computers & Education*, 135, 1-14.
- Granić, A. & Marangunić, N. (2019). Technology Acceptance Model in Educational Context: A Systematic Literature Review. *British Journal of Educational Technology*, 50(5), 2572-2593. doi:<https://doi.org/10.1111/bjet.12864>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E. (2010). *Multivariate Data Analysis (7th ed.)*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education
- Hsu, M.-H. & Chiu, C.-M. (2004). Predicting electronic service continuance with a decomposed theory of planned behaviour. *Behaviour & Information Technology*, 23(5), 359-373. doi:10.1080/01449290410001669969
- Joo, Y. J., Park, S. & Lim, E. (2018). Factors Influencing Preservice Teachers’ Intention to Use Technology: TPACK, Teacher Self-efficacy, and Technology Acceptance Model. *Journal of Educational Technology & Society*, 21(3), 48-59.
- Kılıççeken, A. (2019). *E-Devlet Uygulamalarının Devlet Üniversiteleri Üzerine Etkileri; Kastamonu Üniversitesi Üzerine Bir Analiz*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karabük.
- Koivumäki, T., Ristola, A. & Kesti, M. (2008). The effects of information quality of mobile information services on user satisfaction and service acceptance—empirical evidence from Finland. *Behaviour & Information Technology*, 27(5), 375-385. doi:10.1080/01449290601177003
- Kose, T. (2019). Gender and use of e-government services in Turkey: E-government in Turkey. İçinde *Gender gaps and the social inclusion movement in ICT* (ss. 130–146). IGI Global.
- Kutlu, Ö. ve Sevinç, İ. (2010) An Overview Of The E-Government Initiatives In Turkey In Respect To The Eu Accession Process, *International Journal Of Ebusiness and Egovernment Studies*, 2(2), ss. 1-12.
- Lai, P. C. (2017). The Literature Review Of Technology Adoption Models And Theories For The Novelty Technology. *JISTEM - Journal of Information Systems and Technology Management*, 14(1), 21-38. doi:10.4301/S1807-17752017000100002
- Lin, C.-C., Wu, H.-Y. & Chang, Y.-F. (2011). The critical factors impact on online customer satisfaction. *Procedia Computer Science, World Conference on Information Technology*, 3, 276-281. doi:10.1016/j.procs.2010.12.047
- Lin, F., Fofanah, S. S. & Liang, D. (2011). Assessing Citizen Adoption of E-Government Initiatives in Gambia: A Validation of the Technology Acceptance Model in Information Systems Success. *Government Information Quarterly*, 28(2), 271-279. doi:10.1016/j.giq.2010.09.004
- Lin, H.-F. (2007). Predicting consumer intentions to shop online: An empirical test of competing theories. *Electronic Commerce Research and Applications, Intelligent agents in e-services*, 6(4), 433-442. doi:10.1016/j.elerap.2007.02.002
- Liu, Y., Li, H., Kostakos, V., Goncalves, J., Hosio, S. & Hu, F. (2014). An Empirical Investigation of Mobile Government Adoption in Rural China: A Case Study in Zhejiang Province. *Government Information Quarterly*, 31(3), 432-442. doi:10.1016/j.giq.2014.02.008
- Management Association, I. (2020). *Open Government: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (4 Volumes) (pp. 1-2581). Hershey, PA: IGI Global. doi:10.4018/978-1-5225-9860-2.
- Mathieson, K. (1991). Predicting User Intentions: Comparing the Technology Acceptance Model with the Theory of Planned Behavior, *Information Systems Research*, 2(3), 173-191.
- Naralan, A. (2009). Türkiye’de E-Hazırlık ve E-Devletleşme. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(1), 1-17.
- Natarajan, T., Balasubramanian, S. A. & Kasilingam, D. L. (2017). Understanding the intention to use mobile shopping applications and its influence on price sensitivity. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 37, 8-22. doi:10.1016/j.jretconser.2017.02.010



- Nirwanto, N. & Andarwati, M. (2019). End-user satisfaction as an impact of the system quality, information quality, and top management support, upon the perceived usefulness of technology utilization (ss. 1-18). Osaka Conference Program, sunulmuş bildiri. <http://eprints.unmer.ac.id/89/> adresinden erişildi.
- Oliver, R. L. (1980). A Cognitive Model for the Antecedents and Consequences of Satisfaction, *Journal of Marketing Research*, 17, 460-469.
- Piotrowski, S. J. & Borry, E. L. (2009). Transparency and local government websites. In Handbook of research on strategies for local e-government adoption and implementation: *Comparative studies* (pp. 390-407). IGI Global.
- Rafique, H., Almagrabi, A. O., Shamim, A., Anwar, F. & Bashir, A. K. (2020). Investigating the Acceptance of Mobile Library Applications with an Extended Technology Acceptance Model (TAM). *Computers & Education*, 145, 103732.
- Rezaei, S. & Amin, M. (2013). Exploring online repurchase behavioural intention of university students in Malaysia. *J. for Global Business Advancement*, 6(2), 92. doi:10.1504/JGBA.2013.053561
- Roca, J. C., Chiu, C.-M. & Martínez, F. J. (2006). Understanding e-learning continuance intention: An extension of the Technology Acceptance Model. *International Journal of Human-Computer Studies*, 64(8), 683-696. doi:10.1016/j.ijhcs.2006.01.003
- Ruiz-Mafe, C., Tronch, J. & Sanz-Blas, S. (2016). The role of emotions and social influences on consumer loyalty towards online travel communities. *Journal of Service Theory and Practice*, 26(5), 534-558. doi:10.1108/JSTP-12-2014-0294
- Salloun, S. A., Alhamad, A. Q. M., Al-Emran, M., Monem, A. A. & Shaalan, K. (2019). Exploring Students' Acceptance of E-Learning Through the Development of a Comprehensive Technology Acceptance Model. *IEEE Access*, 7, 128445-128462.
- Schopf, J. C. (2020). The Governance Effects of Korea's Leading E-Government Websites. İçinde *Open Government: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (ss. 2040-2057). IGI Global.
- Seyhun, S. & Kurtuldu, G. (2020). Genişletilmiş Teknoloji Kabul Modeli Bağlamında Mobil Alışveriş Uygulamalarının Benimsenmesini Etkileyen Faktörler. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(1), 599-628. doi:10.26468/trakyasobed.617630
- Song, J., Migliaccio, G. C., Wang, G. & Lu, H. (2017). Exploring the Influence of System Quality, Information Quality, and External Service on BIM User Satisfaction. *Journal of Management in Engineering*, 33(6), 04017036. doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000549
- Sökmen, A. & Çelik, K. (2018). Understanding Distance Education Continuance Intention: Extended Technology Acceptance Model. *Journal of Business Management and Economic Research*, 2(3), 1-23. <https://doi.org/10.29226/TR1001.2018.21>
- Spreng, R. A., MacKenzie, S. B., Olshavsky, R. W. (1996). A Re-Examination of the Determinants of Consumer Satisfaction, *Journal of Marketing*, 60, 15-32.
- Taytak, M., & Vural, K. (2019). Bilişim Sistemlerindeki Gelişmelerin Türkiye'de E-Vergi Uygulamaları Üzerine Yansımaları ve Değerlendirilmesi. *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*, 56(647), 65-100.
- Topal, M. H., Günay, H. F., Uğur, C. Y., & Aydın, A. (2020). Sebep Eylem Teorisi Bağlamında Ücretli Poşet Kullanım Niyeti Üzerinde Etkili Faktörlerin İncelenmesi. *Global Journal of Economics and Business Studies* 9(17), 22.
- TUİK. (t y). Erişim Adresi: <https://www.tuik.gov.tr>, Erişim Tarihi 20/2./2020
- TUİK. (t y). Erişim Adresi: <https://www.tuik.gov.tr>, Erişim Tarihi 20/2./2020
- Turuç, Ö. (2016). Bilgi Teknolojileri Kullanımının İşletmelerin Örgütsel Performansına Etkisi Hizmet Sektöründe Bir Araştırma. *Toros Üniversitesi İİSBF Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(5), 225-247.
- Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi- En Çok Kullanılan Hizmetle. (t y ). Erişim Adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/cok-kullanilan-hizmetler>, Erişim Tarihi: 20.02.2020
- Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi- En Çok Kullanılan Hizmetle. (t y ). Erişim Adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/cok-kullanilan-hizmetler>, Erişim Tarihi: 20.02.2020
- Uğur, N. G., & Turan, A. H. (2016). Mobil Uygulama Kabul Modeli: Bir Ölçek Geliştirme Çalışması. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 34(4), 97-126. <https://doi.org/10.17065/huniibf.310526>
- Ural, M. N. (2015). Antik Yunan'da Teknik: Teknoloji Felsefesi Tarihine Genel Bir Bakış. *Mavi Atlas*, 0(4), 136-144. <https://doi.org/10.18795/ma.73791>
- Yavuz, A. & Çarıkçı, O. (2009). Bir E-Devlet Hizmeti Olarak E-Maliye Uygulamalarının Algılanması: Isparta İli Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (9), 1-28.
- Yıldırım, S. C., & Kaplan, B. (2019). Adoption Of Mobile Application: A Study with Technology Acceptance Model. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(19), 22-51. <https://doi.org/10.9775/kauibfd.2019.002>
- Yıldız, M. (2007). E-Government Research: Reviewing the Literature, Limitations, and Ways Forward. *Government Information Quarterly*, 24(3), 646-665. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2007.01.002>
- Zhang, H., Xu, X., & Xiao, J. (2014). Diffusion of e-government: A literature review and directions for future directions. *Government Information Quarterly*, 31(4), 631-636.
- Zhou, J. (2017). Exploring the factors affecting learners' continuance intention of MOOCs for online collaborative learning: An extended ECM perspective. *Australasian Journal of Educational Technology*, 33(5). doi:10.14742/ajet.2914





# Rüzgâr Enerji Santrallerinin Kırsala Olan Sosyo - Ekonomik Etkileri ve Sosyal Kabulü

İsmail Bülent Gürbüz<sup>1\*</sup>, Gülay Özkan<sup>2</sup>, Şeniz Korkmaz<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5340-3725), [bulent@uludag.edu.tr](mailto:bulent@uludag.edu.tr)

<sup>2</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6878-1673), [gulayozkan@uludag.edu.tr](mailto:gulayozkan@uludag.edu.tr)

<sup>3</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5779-9499), [501813003@ogr.uludag.edu.tr](mailto:501813003@ogr.uludag.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 28 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 11 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.958695)

**ATIF/REFERENCE:** Gürbüz, İ.B., Özkan, G. & Korkmaz, Ş. (2021). Rüzgâr Enerji Santrallerinin Kırsala Olan Sosyo - Ekonomik Etkileri ve Sosyal Kabulü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 223-231.

## Öz

Rüzgâr enerjisi insanların gözünde kayda değer bir desteğe sahip olmakla birlikte rüzgâr enerjisi santrallerinin (RES) aynı desteği gördüğünü söylemek mümkün değildir. Devlet ve girişimciler yenilenebilir enerji ile ilgili yatırımlarda bölgesel tepkiler ile karşılaşabilmektedirler. Bu çalışmada Aydın'ın Koçarlı ilçesinde bulunan Bağarası Rüzgâr Enerji Santrali'ne yönelik olarak yerel halkın düşüncelerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Araştırma 2019 yılında yüz yüze anket ve görüşmeler ile gerçekleştirilmiş ve verilerin hesaplanmasında SPSS 22 programından faydalanılmıştır. Bulgular yöre halkının RES'lerden kalan alanda tarım ve hayvancılığa devam edebildiklerini, RES'lerin gayrimenkul değerlerini etkilemediğini ancak RES'lerin bölgede kayda değer bir ekonomik hareketlenme yaratmadığını, özellikle bölgenin istihdam yaratma suretiyle işsizlik sorununa çözüm bulmadığını göstermiştir. Dolayısı ile yerel halk bölgede daha fazla rüzgâr türbinlerinin kurulmasını desteklememektedir. RES'lerle ilgili ortaya çıkabilecek çatışmalara çözüm getirebilmek için yer seçimi ve tasarım sürecinde yerel çevresel ve sosyo-ekonomik öncelikler göz önünde bulundurulmalıdır. RES yatırımları ile yerel peyzajın korunması arasındaki denge sağlanmalı ve denetlenmelidir. RES yatırımları için yerel toplumun bakış açısını dikkate alan katılımcı planlama ve karar verme süreçleri oluşturulmalıdır. RES'lerin olası çevresel etkileri yanında sosyo-ekonomik etkileri de Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) yönetmeliklerine dâhil edilmelidir.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir Enerji, Rüzgâr Enerjisi, Enerji yatırımları, Rüzgâr enerji santrali, Arka Bahçemde Olmasın Sendromu, Kırsal kalkınma.

## Socio-Economic Effects and Social Acceptance of Wind Power Plants in The Rural Settlements

### Abstract

Wind energy has been recognized as one of the most environmentally harmless sources of electricity generation. Although wind energy has significantly supported people, it is not possible to claim that wind power development (WPD) receives the same support. Government and entrepreneurs may encounter regional oppositions in investments related to renewable energy. This study aimed to determine the local people's opposition to the Bağarası Wind Power Plant located in Koçarlı District of Aydın. The research was carried out with face-to-face interviews and a semi-structured questionnaire in 2019. the SPSS22 program was used for the calculation of the data. The findings indicate that local people can continue agriculture and animal husbandry in the area left from WPDs, WPDs do not affect their real estate value. However, the results also showed that WPDs did not create a significant economic activity in the region. They did not create employment and did not solve the region's unemployment problem. Therefore, the local people do not support the installation of further wind turbines in their local area. Local environmental and socioeconomic priorities should be taken into account in the site selection and design process to resolve conflicts that may arise regarding WPDs. The balance between WPD investments and the protection of the local landscape should be ensured and monitored. Participatory planning and decision-making processes that take into account the local community perspective should also be established. The socioeconomic impacts of WPDs, besides their potential environmental impacts, should be included in the Environmental Impact Assessment (EIA) regulations.

**Keywords:** Renewable Energy, Wind Energy, Energy Investments, Wind Power Plant, Not In My Backyard Syndrome, Rural Development.

\* Sorumlu Yazar: [bulent@uludag.edu.tr](mailto:bulent@uludag.edu.tr)

## 1. Giriş

Rüzgâr enerjisi artık dünya çapında önemli bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Rüzgar enerjisi aynı zamanda çevreye en zararsız elektrik üretim kaynaklarından biri olarak kabul edilmiştir (Warren ve vd., 2005). Rüzgâr enerjisi, dünyadaki en hızlı büyüyen elektrik üretim kaynaklarından biridir (Yiğit ve Akpınar, 2021). Bu büyüme, diğerlerinin yanı sıra iklim değişikliği, enerji güvenliği, fosil yakıtların artan maliyeti ve ekonomik yatırımlar konusundaki endişelerden kaynaklanmıştır (Bolinger ve Wiser, 2009). Rüzgâr enerjisinin algılanan çevresel faydaları nedeniyle (Gurbuz ve Ozkan, 2019) rüzgâr enerjisi gelişimini genişletmek için halk desteği genellikle yüksektir (Swofford ve Slattery, 2010). Ancak rüzgâr enerjisi gelişimindeki dramatik büyüme, bununla birlikte, endüstri için bir dizi zorluğu ortaya çıkarmıştır. Bunlar, yaban hayatı üzerinde özellikle kuşlar üzerinde potansiyel etkileri, kurulduğu bölgede oluşturduğu görsel ve gürültü etkileri (Johansson ve Laike, 2007; Pedersen ve Persson Wayne, 2007), doğal hayatı ve hayvanları etkilemesi, kuruluş yeri seçimi ile ilgili sorunlar (van der Horst 2007; Wolsink, 2007a,b) ve rüzgar enerjisinin çevresel ve emisyon etkileri (Wüstenhage ve vd., 2007) olarak sayılabilir.

Yapılan anketler ve çalışmalar insanların yenilenebilir enerji kaynaklarını fosil yakıtlara daha çok tercih ettiğini göstermektedir. Rüzgâr enerjisinin de yapılan çalışmalara göre insanlar nezdinde kayda değer bir desteğe sahip olduğu görülmektedir. Ancak, devlet, girişimciler ve proje mimarları yenilenebilir enerji ile ilgili yeni projeler ortaya koyarken bölgesel tepkiler ile karşılaşabilmekte ve bölge halkının ilgili projeye olan desteklerinde azalmalar görülebilmektedir. Söz konusu durum NIMBY sendrom (belirge) olarak nitelendirilmektedir.

NIMBY (Not In My Back Yard) belirgesi Emilie Travel Livezey tarafından 1980 yılında ortaya atılmıştır. NIMBY 'Arka bahçemde olmasın' anlamına gelmektedir ve birçok yazar tarafından rüzgâr enerjisine muhalefeti tanımlamak ve açıklamak için kullanılmıştır. NIMBY belirgesine sahip kişiler çeşitli projelerden rahatsızlık duyan, projenin bölge halkına olumsuz etkilerinin olabileceğini düşünen ve bu konuda çekinceleri olan insanlardır (Eren ve Budak, 2012).

Çeşitli araştırmalar, Avrupa ve ABD'deki nüfusun çoğunluğu arasında rüzgâr enerjisine karşı olumlu tutumların yanı sıra rüzgâr gücü kapasitesinin genişletilmesi için güçlü bir itiraz olduğunu göstermektedir (Swofford ve Slattery, 2010; Wolsink, 2007a,b). Rüzgâr gücüne karşı genel tutum olumlu olsa da, belirli bir rüzgâr enerjisi projesine yönelik tutumlar genellikle daha az olumlu ve hatta bazen olumsuzdur. Yeni enerji kaynaklarının herhangi bir şekilde geliştirilmesi, bir noktada yerel toplulukları - yerel kültür, ekonomi ve sosyal bağlamı - etkilemektedir ve rüzgâr enerjisi üretimi için kabul edilebilir yerler bulmanın özellikle zor olduğu kanıtlanmıştır. Rüzgâr enerjisi projelerinden kaynaklanan etkilerin çoğu ağırlıklı olarak yereldir. Bu nedenle, rüzgâr enerjisine yönelik genel halk ve siyasi destek yüksek olsa da, rüzgâr çiftlikleri yerel topluluklarda sık sık endişelere yol açar ve bireysel projeler, oldukça şiddetli halk muhalefeti nedeniyle genellikle başarısız olur.

Rüzgâr enerjisinin gelişimi halkın muhalefetiyle yavaşlarken, insanların rüzgâr enerjisi tutumlarını anlamaya yönelik ilgi artmıştır. Rüzgâr enerjisi yatırımcıları ve muhalifler arasında çatışmalar genellikle yerel bağlamda ortaya çıkmaktadır.

Muhalefetin oluşum nedenlerini anlamak için belirli bir rüzgâr enerjisi projesinden etkilenenlerin tutumlarını incelemek önemli hale gelmektedir.

Wolsink (2007a,b) ve diğer bilim adamları, rüzgâr projelerine halkın direnişini etkileyen bu faktörleri üç kategoriye ayırmaktadır: halkın çevre sorunlarına karşı tutumu, algılanan çıkarlar ve rüzgâr enerjisine yönelik genel tutum. Ancak Wolsink (2007a,b), halkın rüzgâr enerjisine yönelik tutumunun rüzgâr enerjisi projelerine yönelik tutumlardan temelde farklı olduğunu öne sürer. Bell ve vd. (2005), bir kişinin genel olarak rüzgâr enerjisine karşı olumlu bir tavır sergilediği halde belirli bir rüzgâr enerjisi projesine aktif olarak karşı çıkabileceğine dikkat çekerek "bireysel kabul" dikkat edilmesi konusunda uyarılmaktadır. (Bu görüşe göre, "bireysel kabul", 'sosyal "sosyal kabul" den farklıdır). Bununla birlikte, diğer çalışmalar rüzgâr enerjisine yönelik genel tutumların rüzgâr enerjisinin kabulünü etkilediğini, yani rüzgâr enerjisine karşı daha olumlu bir tutuma sahip kişilerin belirli rüzgâr projelerini kabul etme olasılıklarının daha yüksek olduğunu gözlemlemektedir (Johansson ve Laike, 2007; Pedersen ve Persson Wayne, 2007).

Guo ve vd. (2015) ise temelde iki faktörün, yani algılanan ekonomik fayda ile algılanan çevresel maliyetlerin rüzgâr enerjisinin yerel halk tarafından kabul edilmesinde en önemli etken olduğunu savunmaktadır. Yerel halkın rüzgâr enerji tesislerinin ekonomik getirisi olduğuna inandığı veya bunu deneyimlediği durumlarda rüzgâr enerji tesislerini daha kabul edici olduğu gözlemlenmiştir. Rüzgâr enerjisi yatırımlarının yerel ekonomide olumlu bir fark yaratmadığı durumlarda bu yatırımlara olan yaklaşım çok daha olumsuz olarak ortaya çıkmaktadır. Negatif tutumlar, rüzgâr enerjisinin verimsiz ve kârsız olduğu bilişsel kavramıyla pekiştirilir. İnsanlar, nükleer enerjiye kıyasla rüzgâr gücünün üretkenliğini sorguluyor ve aynı zamanda, bu yatırım bir faaliyeti desteklemek için siyasi bir araç olarak görüyorlarsa ve aksi takdirde bu yatırımın kârsız olacağına dair bir inanış varsa rüzgâr tesisinin inşasının altında yatan ekonomik nedenleri de sorgulayacaklardır. Yine araştırmalar yerel halkın rüzgâr enerjisi yatırımlarının ekonomik faydalarını deneyimledikleri durumlarda bu tesislerin çevreye olan etkilerini daha az olumsuz olarak değerlendirdiklerini göstermiştir.

Rüzgar enerjisinin yerelde olarak kabul görmesi "arka bahçemde olmasın ama bende çok da uzakta olmasın" şeklinde de ortaya çıkabilmektedir (Guo ve vd., 2015). Bu görüş daha çok rüzgâr enerjisi yatırımlarının daha çevre dostu olarak kabul edildiği, yatırımların ekonomik faydalarının yerelde çok net deneyimlenmediği ancak ülke ekonomisi için olabilecek katkılarının idrak edildiği, rüzgâr santrallerinin yerel habitata etkileyeceğinden endişe eden topluluklarda daha bariz olarak kendini göstermektedir. Bu durumlarda katılımcıların rüzgâr enerjisi tesislerinin kendi köylerinde veya mahallelerinde bulunduğu onları kabul oranı düşük olmakta ancak, bu tesisler kendi il veya ilçelerinde olduğunda veya bölge veya ülke düzeyinde inşa edildiğinde kabul oranı yükselmektedir.

Erken dönem araştırmacıları rüzgâr gücünün görsel etkisinin, olumsuz tutumların ana nedenlerinden biri olarak görmekte idi. Bu araştırmacılar insanların tutumlarının güçlü bir şekilde hissettikleri ve son derece öznel olan estetik değerlerle etkilendiğini belirtmektedirler. Rüzgâr gücünün yerel peyzaj niteliklerine ve tesislerin kurulu olduğu bölge ile ilişkili duygusal deneyime yönelik bir tehdit olarak algılandığını savunmaktadırlar. Ancak daha sonraki araştırmalar rüzgâr türbinlerinin yerel halk tarafından çok da tehditkâr görünmediğini

hatta bölge için cazibe katıcı bir unsur olarak görüldüğünü gösteren bulgulara ulaşmışlardır.

Yapılan araştırmalar rüzgâr santrallerinin iddia edildiği gibi bölge ekonomisine katkıda bulunup bulunmadığını ve bu katkıların yerel halk tarafından algılanıp algılanmadığını sorgulamışlardır. Bu konudaki araştırmaların sonuçlarına ülkeler santralin büyüklüğü gibi faktörlere bağlı olarak değişim göstermektedir. Ancak incelenen eserlerdeki araştırmaların büyük çoğunluğu rüzgâr santrallerinin kurulduğu bölgeye ekonomik katkısının kısıtlı olduğunu veya genellikle inşaat sürecinde bölge ekonomisinde bir hareketlenme olduğunu tesisi kurulu bölgenin sosyo-ekonomik yapısında belirgin bir gelişmeye sebebiyet vermediğini göstermiştir.

Dünya literatüründe son yıllarda son derece sıkça gözlenen NIMBY belirgesi Türkiye’de çok kısıtlı olarak çalışılmış bir konudur. Alandaki bilinen ilk araştırmada Eren ve Budak (2012) Hatay iline bağlı Belen ve Samandağ ilçelerinde işletilmeye açılan RES’lerle ilgili yerel halkın görüşlerine başvurmuşlardır. Palabıyık ve Kara (2015) Çanakkale Erenköy’de kurulu olan Anemon Rüzgâr Enerji Santrali, Taşkın ve vd. (2020) Kırşehir iline bağlı Mucur ilçesinde yer alan Geycek rüzgâr santralini ve Kalaycı Önaç ve vd. (2017) İzmir İli Çeşme ilçesinde bulunan Alaçatı Rüzgâr Enerji Santrali çerçevesinde yöre halkının sosyal kabul dinamiklerini incelemişlerdir. Ekşi ve vd (2019) ise belirli bir santrali örneklem olarak almadan İzmir Bornova ilçe merkezinde yaşayan halkın rüzgâr enerji santralleri hakkındaki görüşlerini incelemişlerdir.

Bu çalışmada, Aydın ilinin Koçarlı ilçesi sınırları içerisinde işletilmeye alınan Bağarası Rüzgâr Enerji Santralinin, civarda yaşayan bireyler tarafından nasıl algılandığının araştırılması ve bölge insanının projeye olan düşünce ve tepkilerinin ortaya koyulması amaçlanmıştır. Ayrıca, bölge halkının sosyo-ekonomik durumlarının ortaya koyulması, yenilenebilir enerjinin olumlu ve olumsuz yönleri hakkında ki düşüncelerinin belirlenerek NIMBY belirge olup olmadığının tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Bu araştırmanın mevcut kısıtlı deneysel literatüre katkı yapması ve önceki araştırmalarla sonuçları karşılaştırma yapma imkânı vermesi ve bölge halkının görüşlerinin daha iyi anlaşılacak yerel yöneticilere ve politika yapıcılara yol gösterici olması hedeflenmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu araştırmada, esas olarak Aydın iline bağlı Koçarlı ilçesi sınırları içerisinde işletilmeye alınan Bağarası rüzgâr enerji santraline yakın bölgelerde yaşayan insanlarla yapılan yüz yüze anket çalışmasıyla elde edilen birincil veriler kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, araştırma konusuyla ilgili daha önce yapılan ulusal ve uluslararası araştırmalar ve çeşitli kurum ve kuruluşlardan elde edilen istatistiksel veriler kullanılmıştır. Araştırmada anketin uygulanacağı bölgeleri belirlemek amacıyla amaçlı örnekleme yöntemi tercih edilmiştir. Yang (1964)’a göre kırsal alanlardaki araştırmalarda örneklem hacminin 100 ilâ 120 arasında olması yeterli görülmektedir. Bu nedenle Bağarası RES’e yakın köylerde yaşayan 118 kişiyle anket çalışması yapılmıştır. Anketin ilk bölümünde ankete katılan kişilerin demografik (yaş, cinsiyet, medeni durum, eğitim durumu, meslek) özelliklerini tespit edici sorular yer almaktadır. Birinci bölümde çoktan seçmeli ve açık uçlu sorular bulunmaktadır. İkinci bölümde, katılımcıların rüzgâr enerjisinin olası sakıncaları

konusunda bilgi seviyeleri, RES’lerin kurulum ve işletim süreciyle ilgili düşünceleri ile ilgili sorular yer almaktadır. Anket, 2019 yılı Nisan ve Mayıs aylarında araştırmacı tarafından bizzat sahada yapılmıştır. Verilerin toplanmasının ardından anket güvenilirlik analizine tabi tutulmuştur.

Anket formlarından elde edilen veriler SPSS 22.0 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Ankette yer alan öğelerin iç tutarlılık katsayısını ölçmek için Cronbach alfa testi uygulanmıştır. Cronbach alpha  $\alpha = 0.865$  olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç anketin güvenilirlik kriterini karşıladığını göstermektedir. Ek olarak, değişkenlerin ortalama, standart sapma basıklık ve çarpıklık değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, normallik varsayımı Shapiro-Wilk testi kullanarak test edilmiştir. Analiz,  $[D(118)= 0.956 \text{ p} < 0.001]$  verilerin normal dağılım sağlamadığını göstermektedir. Bu nedenle, eğrilik ve basıklık değerleri daha da kullanılarak ve eğriliğin  $-1.254$  (SE = 0.127) ve  $-1.090$  (SE = 0.376) olduğu bulunmuştur. George ve Mallery (2010), ilgili değişkenlerin basıklık ve bozulma değerlerinin  $\pm 2$  aralığında olduğu durumlarda verilerin normal dağılımı gösterdiğini göstermektedir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Araştırma Bölgesi Hakkında Bilgiler

Ege Bölgesinde yer alan Aydın ili 8.117 km<sup>2</sup> yüz ölçümüne sahip, tarım, sanayi, turizm sektörleri bakımından gelişmiş bir ildir. İl nüfusu 1.097.746’dır. Aydın ilinde Akdeniz iklimi görülmektedir.

Koçarlı ilçesi, Aydın iline 24 km uzaklıkta bulunmakta olup yüzölçümü 471 km<sup>2</sup> ve rakımı 60 metredir. İlçe nüfusu 2018 verilerine göre 23.716’dır. İlçe ekonomisinde tarım önemli bir yere sahiptir. Bağarası Rüzgâr Santrali Aydın’ın Koçarlı ilçesindedir. 2015 yılında faaliyete geçen santral 46 MW kurulu gücü ile Türkiye’nin 282. Aydın’ın ise 7. büyük enerji santralidir. Tesis ayrıca Türkiye’nin 69. büyük Rüzgâr Enerji Santrali’dir. RES’te 20 adet rüzgâr türbini kullanılmıştır. Bağarası Rüzgâr Santrali ortalama 122 647 642 kilovatsaat elektrik üretimi ile 33.769 kişinin günlük hayatında ihtiyaç duyduğu tüm elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmektedir. Bağarası Rüzgâr Santrali sadece konut elektrik tüketimi dikkate alındığında ise 41.060 konutun elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilecek elektrik üretimi yapmaktadır (Enerji Atlası, 2021).

### 3.2. Demografik Bulgular

Ankete katılan bireylerin %62’si kadın, %38’i erkektir. Yerleşim yerlerinin ilçe merkezine uzak olması ve yerleşimin dağlık bölgelerde olması, bazı mahallelerde sadece ilkokul bulunması, bazılarında ilkokulun bile olmaması ortaöğretim ve üzeri eğitimin ilçe merkezinde ve/veya şehir merkezinde yapılması bölgedeki eğitim seviyesi düşük olmasına neden olmuştur. Katılımcıların %70’i ilkokul mezunudur. Katılımcıların genellikle gençlerden oluştuğu görülmektedir. Katılımcıların %60’ı 45 yaş ve altındadır. Yine katılımcıların üçte ikilik kısmı çiftçidir ve asgari ücret seviyesinde bir gelire sahiptirler (Tablo 1).

Tablo 1. Katılımcıların Demografik Özellikleri

		N	%			N	%
Gender	Erkek	45	38.1	Ailedeki birey sayısı	1-2	35	29.7
	Kadın	73	61.9		3-6	79	66.9
					6 +	4	3.4
Yaş	26-35	36	30.5	Eğitim	Okuma-yazma bilmiyor İlköğretim	5	4.2
	36-45	34	28.8			79	66.9
	46-55	22	18.6		Ortaöğretim Ön lisans Lisans	29	24.6
	56-65	18	15.3			3	2.5
	66+	8	6.8			2	1.7
Meslek	Çiftçi	75	63.6	Net Aylık Gelir	2020-3000	74	62.7
	İşçi	11	9.3		3001=4000	31	26.3
	Emekli	3	2.5		4001=5000	3	2.5
	Özel Sektör	9	7.6		5001=6000	7	5.9
	Diğer	20	16.9		6001+	3	2.5

Tablo 2. Rüzgâr enerjisi yatırımlarının yerel ekonomi için fayda ve zararları

İfadeler	Katılım Oranı (%)					Ort.	Standart Sapma
	1	2	3	4	5		
RES'lerden geriye kalan alanlar tarım ve hayvancılık için kullanılabilir	1.7	5.9	0.8	59.3	32.2	4.14	0.840
RES'ler üretim, bakım, işletme vb. alanlarda istihdam potansiyeliyle işsizlik oranlarını azaltmaktadır	5.9	36.4	7.6	29.7	20.3	3.22	1.295
Rüzgâr enerjisi yatırımları kırsal kesimlerde ekonomik bir katkı sunar	31.4	37.3	7.6	16.1	7.6	2.31	1.279
Bölgedeki gayrimenkul değerlerini düşürür	28.8	53.4	7.6	8.5	1.7	2.01	0.929
Türbinlerin kapladığı alan nedeniyle tarım arazilerinde kayıp yaşanır	13.6	23.7	5.9	49.2	7.6	3.14	1.253
Rüzgâr enerjisinin zararları faydalarından fazladır	0.8	16.1	16.1	50.0	16.9	3.66	0.972
Daha fazla rüzgâr türbini kurulmasını desteklerim	26.3	33.9	11.9	18.6	9.3	2.51	1.312

1-Kesinlikle katılmıyorum. 2-Katılmıyorum. 3-Kararsızım. 4-Katılıyorum. 5-Kesinlikle katılıyorum

Araştırmada katılımcılara RES'lerin tarım faaliyetlerine ve yerel ekonomiye olan etkilerine yönelik olumlu ve olumsuz ifadeleri değerlendirmeleri istenmiştir. Ayrıca genel anlamda rüzgâr enerjisi yatırımlarını yarar/zarar ekseninde değerlendirmeleri ve yeni yapılacak yatırımlara destek verme durumları sorulmuştur. Araştırma hipotezleri ile doğrudan ilgili ifadeler Tablo 2'de yer almaktadır.

Katılımcıların Bağarası civarındaki türbinlerin inşasının tarım arazilerinde kayba yol açıp açmayacağı konusunda kararsız oldukları görülmektedir; %56.8'lik kısmı arazi kaybı olmayacağı görüşündedir. Kalaycı Önaç ve vd. (2017)'da Alaçatı rüzgâr enerji santrali civarında yaptıkları araştırmada benzer sonuca ulaşmışlardır. Katılımcıların %21.7'lik kısmı kararsız kalırken %37'lik bir kısmı RES'lerin tarım arazilerini ve tarımsal



faaliyetleri olumsuz etkileyebileceğini belirtmişlerdir. Oysa Fıçıcı (2008) özellikle geniş alan gerektiren büyük ve orta ölçekli santrallerin yerleşim yerleri dışında kurulduğunu, türbinlerin kurulu olduğu alanın toplam proje alanının %2'sini kapsadığını ve bu nedenle tarımsal faaliyetlerin etkilemeyeceğini belirtmektedir. Rüzgâr türbinlerinin kurulacağı tarım alanları genellikle çiftçilerden satın alınmaktadır. Türkiye'de zaten tarım alanları parçalı bir yapıya sahiptir ve ortalama tarım arazisi büyüklüğü 5.9 hektardır. Ayrıca kırsaldan kente büyük bir akım olduğu ve tarımla uğraşan kesim yaşlı olduğu için önemli miktarda tarım arazisi zaten atıl durumdadır (Gürbüz ve vd, 2002). Santraller tek başına kapladığı alan itibari ile ekilen tarımsal arazilerde bir kayıp oluşturmaya da, hali hazırda Aydın ilinde 12 RES santralının faal olması kurulması planlanan ve lisansı alınan santrallerle de birleştiğinde halkın gözünde tarım arazilerinde azalma olacağı kaygısı oluşmaktadır.

### 3.3. Rüzgâr enerji santrallerinin kırsal ekonomi ve istihdama etkileri

Rüzgâr enerjisinin ekonomik faydaları ve sosyal kabul arasında sorunlu bir ilişki bulunmaktadır. Vatandaşların rüzgâr enerjisinin özellikle kendi yerel (köy), ilçe ve bölge seviyelerinde sağlayacağı ekonomik faydalara dair güçlü beklentilerinin onların rüzgâr enerjisini kabullerini şekillendirdiği vurgulanmaktadır. RES'lerin faydaların algılanması, onların yerel kabulünde en önemli faktördür. Guo ve vd. (2015) Çin örneği üzerinden ülkelerde halkın endüstriyel kalkınmaya olan gereksinimlerinin (bu durumda rüzgâr enerjisi endüstrisi) ekonomik faydalar sağlayıp sağlamayacağına daha fazla önem verdiğini vurgulanmaktadır. Ayrıca gelişmekte olan ülkelerde yerel halkın rüzgâr enerjisinden ekonomik faydalar elde etme şekli, yüksek gelirli ülkelerdekinden farklıdır. Almanya, Danimarka, Fransa ve Birleşik Krallık gibi yüksek gelirli ülkelerin çoğunda rüzgâr enerjisi şirketleri, rüzgâr enerjisinin yerel olarak kabulünü artırmak ve bir NIMBY tepkisinden kaçınmak için genellikle vatandaşları rüzgâr türbinlerinin sahipliğine dâhil eder (Jobert ve vd., 2007; Warren ve McFadyen, 2010). Söz konusu ülke örneklerinde gözlemlenen yerel topluluğun, yerel kooperatiflerin sahipliğinde türbinlerin sahibi veya arazinin kiralandığı ve yerele doğrudan finansal katkı sunan modeller Türkiye'de bulunmamaktadır. Türkiye'de RES'ler büyük sermayeli özel şirketlere aittir. Buna karşılık, örneğin Çin'de rüzgâr enerjisi üretim şirketlerinin tümü devlete ait işletmelerdir. Bu nedenle, vatandaşlar rüzgâr türbinlerinin mülkiyetine dâhil değildir. Vatandaşlar sadece türbinlerin ürettiği istihdam ve gelir artışından yararlanmaktadır. Geleneksel rüzgâr enerjisi projelerine kıyasla, topluluk denetimli/sahipliğinde gelişen rüzgâr projeleri ekonomik faydalar açısından daha büyük etkiye sahiptir.

Munday ve vd. (2011), rüzgâr enerjisi üretim projelerinden bugüne kadarki kırsal alanlardaki ekonomik kalkınma sonuçlarının sorgulanabilir olduğu sonucuna varmıştır. İnşaat aşamasında bir kısım kalifiye olmayan eleman çalıştırılabilmektedir. İnşaat ve işletim sürecinde teknik birimlerin ve türbinlerin bakım onarımı yüksek bilgi ve beceri gerektirir. Rüzgâr santralleri genellikle ülkenin ekonomik olarak daha az gelişmiş kırsal alanlarına kurulduğu için bu bölgelerde bu teknik bilgiye sahip eleman bulmak güç olmaktadır. Ayrıca garanti koşulları nedeniyle türbin üreticileri yerinde bakım için kendi personelini kullanma eğiliminde olmaktadır. Türbin yönetimi büyük ölçüde otomatikleştirildiği için denetim ihtiyaçları seyrekir. Çok az nüfuslu bazı bölgelerde, bir rüzgâr tesisinin işletilmesinde yaratılan az sayıda istihdam o bölge için önem arz etse de genel olarak RES'lerin sayı ve kapasitelerinin

artmasına rağmen inşaat aşaması dışında kalıcı olarak kırsal ekonomide önemli ek istihdam yaratmamaktadır. RES'lerin kurulu olduğu yerel yönetim alanlarından gerçek yerel mal ve hizmet satın alma fırsatları çok sınırlıdır. Bunun nedeni, inşaat aşamasında kullanılan malzemelerinde işçilik gibi yüksek teknoloji gerekliliğidir ve bunlar çoğunlukla deniz dışı ülkelere temin edilmektedir. Bu, Koçarlı kırsal ekonomisindeki mevcut rüzgâr çiftliği yatırımları ile bağlantılı yerel ve bölgesel firmalar için sınırlı fırsatlar yaratmaktadır.

RES yatırımları idari merkezi genellikle İstanbul'da olan özel mülkiyetli büyük enerji firmalarınca gerçekleştirildiği için bu işletmelerin bölgenin istidam ve sosyo-ekonomik kalkınmaya doğrudan etkisini ölçen resmi istatistikî araştırmalar bulunmamaktadır.

Yenilenebilir enerji projelerinin sosyal kabulüne yönelik mevcut yazın incelendiğinde, yapılması devreye alınan bu tesislerin proje, inşaat ve işletilmesi aşamasında çalışmak üzere bölgeye dışarıdan insanların geleceği, bölge ticaretinin hareketleneceği, bölgede sağlanacak vergi miktarlarının artacağı, bunun bölgedeki altyapı yatırımlarını dolayısı ile sosyal refah düzeyini artacağı tezi yaygın kabul görmektedir. Santrallerde çalışmak üzere gelen kişilerin konaklama, gıda alışverişi, ev araç kiralama gibi ihtiyaçlarını yöreden karşılamasının bu hareketliliğin nedeni olarak izah edilmektedir. Cohen (2010), Kuzey Dakota kurulan 150 MW gücünde bir rüzgâr santralının yerel ekonomiye katkısının 3.2 milyon dolar olduğunu belirtmektedir. Leistriz ve Coon (2009), Amerika'nın Kuzey Dakota'daki rüzgâr santralının inşaat aşamasındaki işçilerin yerel bölgelerdeki barınma ve yeme-içme gibi faaliyetleri gerçekleştirerek yerel ekonomiyi canlandırdığına işaret etmektedir. Mulvaney ve vd. (2013) ABD'de Benton County şehrindeki çalışmasında, rüzgâr enerjisine karşı belirgin bir muhalefet olmasına rağmen, bu enerji türünün sağladığı ekonomik faydaların halkın büyük çoğunluğunun olumlu bir algıya sahip olmasına katkı sağladığını belirtmektedir. Brannstrom ve vd. (2001) Sweetwater (ABD) şehrinin ekonomik güçlüklerle mücadele ettiğini ve nüfus kaybetmeye başladığını, ancak rüzgâr çiftlikleri geldikten sonra okullarda öğrenci sayılarında istikrar sağlandığını ve bölgenin bir bütün olarak yeniden canlanmaya başladığını gözlemlemiştir. Araştırmacılar ayrıca rüzgâr enerjisinin gelişi ile elde edilen ek finansal desteğin çiftçilerin tarım ve hayvancılık faaliyetlerine devam edebilmeleri için gerekli güvenceyi sağladığının altını çizmiştir.

Literatürde yukarıdaki örneklerde olduğu gibi başarılı örneklerin sayısı çoğaltılabilir. Ancak bu örneklerin tamamı ABD (Brown ve vd., 2012; Slattery ve vd., 2012; Swofford ve Slattery, 2010) ve Batı Avrupa'nın gelişmiş ülkelerinde yapılan araştırmaların bulgularıdır (Hattam ve vd., 2015; Moula ve vd., 2013).

Türkiye, Çin, Malezya, Yunanistan, İskoçya gibi gelişmekte olan ülkelerde ise durum biraz daha karmaşıktır. Muncur ilçesi Geycek rüzgâr santralının yapımı sırasında yüklenici firmanın inşaat ve işletim aşamalarında bölge dışından gelen çalışanlarının çeşitli ihtiyaçlarını Mucur ilçesinden sağlamıştır. Fakat bu hareketin bariz bir ekonomik bir etki sağlamaktan uzak olduğunun ve kişisel düzeyde küçük gelir getiren ticari ilişkilerle sınırlı kaldığının da altı çizilmektedir. Katılımcıların %67.4'ü 'santralin inşaat, proje ve işletim esnasında bölge insanından ticaret yapmadığını' %65.6'sı da 'santralin proje, inşaat, işletim aşamasında görev yapan işgücü bölgeye gelir getirmediğini' vurgulamıştır. Yine katılımcıların yaklaşık yarısı (%45.4) rüzgâr santrali için yapılan kiralama ve kamulaştırmaların yerel halkın beklentilerini karşılamadığını

belirtmektedir. RES ile ilgili olarak sorulan “Siz, bir yakınınıza ya da tanıdığınız rüzgâr santralının inşaat aşamasında gelir getiren bir işte çalıştı mı?” sorusuna verilen %49.5 oranında “evet” cevabı ve “Rüzgâr enerjisi bölge insanına iş olanağı yaratmaktadır.” sorusuna verilen %67.1’lik hayır cevabı santralin bölgede istihdam yaratmada halkın beklentilerini karşılamadığını göstermektedir (Taşkın ve vd., 2020).

Çanakkale Anemon Rüzgâr Enerji Santralının bölgeye ekonomik katkısının olmadığı (%49,3) ve arazi sahiplerine gelir kaynağı yaratmadığı (%59.6) başka bir araştırma ile ortaya koymuştur. Yöre halkının santralin kendilerine yeni iş imkânları sağladığı görüşüne katılımların oranı %53,8 civarında kalmıştır. Rüzgâr enerji santralının yöre halkına yeni iş imkânları sağlama (%53.8); işletmenin bölgeye ekonomik katkısı (%49,3); arazi sahiplerine gelir kaynağı olup olmadığı (%59.6) konularında ankete katılanlar genelde arada kaldıkları görülmüştür (Palabıyık ve Kara, 2015). İzmir Alaçatı RES ile ilgili olarak inşaat ve işletme aşamasında katılımcıların %58, yerel halka geçici iş sağladığı önermesine katılırken daimi iş sağladığına katılanların oranı ise %47.8’de kalmıştır (Kalaycı Önaç ve vd., 2017). İzmir Bornova ilçe merkezinde katılımcıların yaklaşık üçte ikisi yaşadığı yerleşim alanına enerji yatırımlarının yapılmasının bölgesel kalkınmaya katkı sağlayacağını düşünmektedir. Bununla birlikte enerji yatırımlarının bölgede ki istihdama katkı sağlayacağını düşünenlerin oranı, %40’lar seviyesindedir (Ekşi ve vd., 2019).

Bağarası santrali ile ilgili olarak RES’lerin üretim, bakım, işletme vb. alanlarda istihdam olanağı yaratarak işsizliği azalttığı önermesine %42.3 oranında katılmayışı ülkedeki diğer araştırmalar ile benzerlik göstermektedir. Türkiye’deki araştırmalarda ortaya konulan Bağarası santrali içinde onaylanan rüzgâr enerjisinin ekonomik getirileri hakkındaki yönelik genel hoşnutsuzluk ve hoşnutsuzluk benzer coğrafyada ve benzer gelişmekte olan benzer ülkelerdeki örneklerle örtüşmektedir.

Yunanista’nın Gıney Eire Adası ile ilgili olarak yaptığı araştırmaya katılanlar tarafından algılanan temel faydalar istihdam (%36), belediyeler için artan gelirler (%22) ve yol altyapılarının inşası (%19) ile ilgilidir. Katılımcıların %52 si iş olanakları ile ilgili bir fayda olacağını ummamaktadır (Kontogianni ve vd., 2014). Güney-Batı İskoçya’da Kintyre Yarımadası ile Gıgha Adası’nda karşılaştırmalı olarak yaptıkları çalışmada ticari şirketlerin sahip olduğu sahaların yer aldığı Kintyre’ye nazaran yerel halkın mülkiyetindeki sahanın yer aldığı Gıgha’da rüzgâr enerji sistemlerine dönük daha olumlu tutum ve davranışın geliştiği görülmüştür (Warren ve McFadyen, 2010).

Halkım RES’lerin kurulumunu güçlü olarak desteklediği Çin’de, Shandong eyaletinde yaşayan halk tarafından RES yatırımları Çin ekonomisi için faydalı görmeye birlikte (%72.6), kırsal kesimin ekonomik olarak büyümesine katkıda bulunduğu konusunda ikna olmuş değillerdir. Katılımcıların yaklaşık beşte biri (%19.8) kararsız kalırken yarıya yakını hayır (%41.4) cevabını vermişlerdir (Yuan ve vd., 2015). Jiuquan’da ise daha dikkat çekici bir durum ortaya çıkmaktadır. Araştırma halkın %92’sinin rüzgâr enerjisi teknolojilerinin Çin’in ekonomik büyümesine katkıda bulunacağına, %83.4’ünün RES’lerin yerel aileler için gelir artışı sağlayacağına inanmalarına rağmen sadece yarısından az fazlası (%52.7) rüzgâr çiftliklerinin yerel istihdam artışı artıracağına inanmaktadır (Guo ve vd., 2015).

Bağarasında da yukarıda belirtilen bulgulara paralel olarak yerel halk ‘RES’ler üretim, bakım, işletme vb. alanlarda istihdam potansiyeliyle işsizlik oranlarını azaltmaktadır’ önermesine %42.3 hayır ve %50 evet yanıtını vermişlerdir.

### 3.4. Yerel gayrimenkul fiyatlarına etkileri

Taşınmaz malların değerinin rüzgâr enerji tesislerinden olumsuz etkileneceği görüşü diğer önemli ekonomik tartışmalardan biridir. Türbinler, enerji nakil hatları ya da salt sahalarına yakın konut ve arazi fiyatlarının bu yapılaşmadan nasıl etkilendiğine dair çalışmalar bölge özelliklerine göre farklı sonuçlara ulaşabilmektedir. Hoen ve vd. (2006)’nın dokuz farklı ABD eyaletinde 24 rüzgâr tesisinin 10 mil yakınında bulunan yaklaşık 7 500 müstakil ev satışı hakkında veriye dayandırdığı çalışmada konut satış fiyatları üzerinde, az sayıda evin olumsuz etkilendiği olduğu olasılığını atlamadan, tutarlı ölçülebilir ve istatistiksel olarak anlamlı bir etki bulunmamıştır. Buna karşın Sunak ve Madlener (2016)’in Kuzey Ren-Vestfalya Federal Eyaletindeki çeşitli rüzgâr sahaları çevresinde bulunan mülklerin değerleri üzerindeki potansiyel devalüasyonunu araştırdığı çalışmada peyzaj ve manzaranın yoğun bir değişikliğe uğradığı konutlarda fiyatların yaklaşık %10-17 oranında azaldığı bulunmuştur. Mulvaney ve vd. (2013) ise kısa zaman aralığında santralin ortaya çıkardığı değer değişiklikleri kestirebilmenin mümkün olmadığını bir düşüş ve artışı görebilmek için orta ve uzun vadede gözlemler yapılması gerektiğini belirtmektedir.

Türkiye’de ise bu konuyu az sayıda ele alan araştırmalardan biri olan Geycek çevresinde genelde taşınmaz değerlerinin yüksek olmadığı belirtilmiştir. Emlak fiyatlarında yaşanan artış ya da azalış rüzgâr santralinden bağımsız olarak çiftçilikten kopup büyük kentlere göçenlerin ev ve tarlalarını satmaları, büyük kentlerden tarım için gelenlerin talepleri, miras yolu ile arazi bölünmesi, yerel planlamada gidilen değişiklikler yeni alanların imara açılması, yol vb. altyapı yatırımları gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla “rüzgâr santralleri sahip olunan taşınmazların değerini düşürmektedir” ifadesine bölge insanı %63,6 oranla kesinlikle katılmamaktadır. Yapılan mülakatlarda bu bulguyu destekler niteliktedir: Arsaların mevcut haliyle mera olduğu ve kırsala geri göç neticesinde fiyatlar genel seviyesinin yükselişe geçtiğinin, bunun santrallerle bağlantı kurmanın doğru olmayacağı ifade edilmiştir (Taşkın ve vd., 2020).

Geycek örneğini aksine Alaçatı RES son derece popüler bir turizm destinasyonu olan Çeşme Alaçatı’da bulunmaktadır. Alaçatı’da hâlihazırda emlak fiyatları İzmir’e yakınlığı ve yoğun turizm talebinden dolayı son derece yüksektir ve turizmin popülaritesini sürdürmesi neticesinde artmaktadır. Bu nedenle emlak fiyatlarında meydana gelen bir değişimin ne kadarının RES’lerden kaynaklı olduğunun yerel halk tarafından kestirilmesi mümkün olmamaktadır. Araştırma sonuçlarında halkın yaklaşık yarısının (%45.6) Alaçatı RES’in mülk değerlerinin değişmesine neden olduğu görüşüne katılmazken, neredeyse her üç kişiden biri (%32,6) bu görüşü desteklemektedir (Kalaycı Önaç ve vd., 2017).

RES’lerin gayrimenkul değerlerini düşürdüğüne yönelik sav uluslararası makalelerde de incelenmiştir. Almanya’da rüzgâr türbinlerinin inşası sırasında, manzaraları yoğun şekilde etkilenen mülklerin, satış fiyatları %10-17 civarında azalmıştır. Ancak türbinleri doğrudan görmeyen mülklerin fiyatlarında bir değişim gözlenmemiştir (Sunak ve Madlener, 2016). Yunanistan’da yerel halk, rüzgâr santrallerinin kurulum öncesi ve sonrasında emlak fiyatları üzerinde olumsuz etki hissetmemiştir (Kontogianni ve vd., 2014). Birleşik Krallıkta halk rüzgâr santrallerini ev fiyatlarını azaltacağı konusunda çok emin değillerdir (M=3.48;SD=1.20: 1=hiç mümkün değil 5=çok mümkün) (Jones ve Eiser, 2010). Finlandiya’da rüzgâr enerjisi mülk değerlerini artırdığını belirtenlerin oranı %41 seviyesindedir (Moula ve vd, 2013). Dolayısı ile Bağarası’ndaki RES’in

bölgedeki gayrimenkul değerleri üzerindeki etkisine yönelik yerel halkın tutumu mevcut çalışmalar ile örtüşmektedir.

### 3.5. Yerel Halkın Rüzgâr Enerji Santrallerini Kabul

İnsanlar rüzgâr enerjisi de dâhil olmak üzere yenilenebilir enerji konusunda olumlu bir tutumda olmasına rağmen, bitkiler ve yaban hayatı (örneğin ekosistem etkilenmesi, habitatın bozulması) ve insanlar (örneğin, gürültü, peyzaj bozulması) ve dolayısıyla nihayetinde insan sağlığı ve refahı üzerindeki olumsuz etkiler nedeniyle, RES'leri kabul etmede çok da istekli olmayabilmektedirler (Zerrahn, 2017).

Önceki bölümde yerel halkın rüzgâr enerjisine tutumlarının RES'lerin, çevresel ve sosyolojik faktörlere ek olarak ancak özellikle sözü geçen bölgelere sağlanan algılanan ekonomik katkılarından etkilendiği vurgulanmıştı.

Moula ve vd (2013) Finlandiya'da incelenen toplulukların genel olarak rüzgâr çiftlikleri ve rüzgâr enerjisine karşı çok olumlu bir tutum sergilediklerini, katılımcıların üçte ikisinden fazlasının topluluklarında daha fazla rüzgâr çiftliği inşa etmekten yana olduklarını belirtmiştir. Rüzgâr enerjisine ve yerel rüzgâr çiftliği projelerine karşı çıkan bireyler küçük bir azınlıktadır. Jones ve Eiser (2010) Sheffield Şehir Meclisinin dört farklı bölgede yerel halkın rüzgâr enerjisi yatırımları için fikirlerini sormuşlar ve her bölge için katılımcıların yaklaşık üçte ikisinin (yani %63.7-68.6) gelişmeyi desteklediği ve üçte birinin (yani %31.4-36.3) gelişmeye karşı çıktığını belirtmişlerdir. Sonuçlar, katılımcıların rüzgâr enerjisinin en çok açık deniz yatırımları için desteklediklerini, belirlenen bölgelerdeki yeni yatırımlara ise en az olumlu baktıklarını göstermiştir. Karadaki yatırımlara yönelik tutumlarının ise yatırım için önerilen konumun görüş alanı dışında olduğu sürece, nispeten daha yüksek düzeyde olduğunu görülmüştür. Çin'in Gansu eyaletindeki Jiuquan ilinde yerel halkın %60.5'i topluluklarında veya köylerinde rüzgâr santrallerini kabul etmektedir. Rüzgâr enerjisi projelerini kabul eden katılımcıların yüzdesi ilçe (% 81.2) ve il düzeyinde (%79.9) en yüksektir. Coğrafi alan genişledikçe, rüzgâr enerjisi projelerini kabul edenlerin yüzdesi Gansu eyaletinde %67.7'ye, Çin genelinde %64.4'e düşmektedir (Guo ve vd., 2015). Çin'deki diğer bir çalışmada Shandong eyaletinde yerel halk %71'lik bir oranda rüzgâr santrallerini desteklerken, yaşadığı yerde RES'lerin kurulmasını destekleyenlerin oranının %52.8'de düştüğü görülmektedir. Ancak ülke çapında RES'lerin sayılarının artırılmasını destekleyenlerin oranı Gansu eyaletinde olduğu gibi yükselmektedir (%65.2) (Yuan ve vd., 2015). Benzer sonuçlar Kontogianni ve vd. (2014) tarafından da dile getirilmektedir. Yunanistan'da halk rüzgâr parklarının gelişimini yerel (%89.1), ulusal (%94) ve küresel düzeyde (%92.9) eşit derecede önemli bulmaktadır. Ancak katılımcılar genel olarak rüzgâr parklarından yana olsalar da, rüzgâr enerjisinin kendi bölgelerinden (%39.4) ziyade Evia'da (%45.4) veya Yunanistan'ın diğer bölgelerinde (%68.9) genişlemesini destekleme eğilimindedirler. Evia'daki yeni tesislere yönelik olumsuz tutumlar (%42.1), güney Evia'daki mevcut alanlara (%29) göre daha yüksektir. Texas'ta halkın çoğunluğu kendi toplumlarında rüzgâr enerjisine karşı olumlu tutumlar sergilerken (% 57.2), daha azı (%20.7) olumsuz tutumlar sergilemişlerdir (Swofford ve Slattey, 2010).

Yukarıda belirtilen çalışmalarda Çin ve Yunanistan gibi gelişmekte olan ülkelerde halkın ülke ekonomisinin gelişmesine yönelik destekleri ve ABD'de bazı RES'lerin özel mülkiyette olmaları nedeni ile yerel topluma doğrudan olumlu ekonomik etkileri RES'lerin kabul oranını arttırmada güçlü bir itici faktör görevi üstlendiği görülmektedir. Burada arka bahçemde olmasın

fakat uzakta da olmasın (NIMBY but not far away from me) inancının varlığından söz edilebilir. Türkiye'deki kısıtlı araştırmalar ülkenin dünya örneklerinden farklılaştığını göstermektedir. Çanakkale'de bölge halkı %91.6 oranında Erenköy'de rüzgâr enerji türbinlerinin kurulmasını desteklemektedir (Palabıyık ve Kara, 2015). Kırşehir Mucur ilçesi yerel halkının desteği %81'dir (Taşkın ve vd., 2020). İzmir Bornova da katılımcıların yaklaşık %78.4'ü rüzgâr enerjisi yatırımlarının yaşam alanına uzaklıkları fark etmeksizin kabullenebileceklerini belirtmiştir. Katılımcıların sadece %8.5'i yaşadıkları mahalle/köy veya kasabaya bir rüzgâr enerjisi santrali yapılmasını istememişlerdir (Ekşi ve vd., 2019). İzmir Alaçatı'da (Kalaycı Önaç ve vd., 2017) ve Hatay Belentepe (Eren ve Budak, 2012) ve Samdağ'da halkın RES'lere karşı genel tutumlarının olumlu olduğu tespit edilmiştir.

Türkiye'deki mevcut yapılmış eserlere göre Türkiye'de NIMBY yerine Arka bahçemde olsun (Yes-In-My-Back-Yard, YIMBY), Arka bahçemde yapılsın (Built-It-In-My-Back-Yard, BIMBY) (Burningham ve vd., 2007), Lütfen arka bahçemde olsun (Please-In-My Backyard, PIMBY) davranışı (Jobert ve ark., 2007) olduğundan bahsetmek mümkündür. Ancak Bağarası RES ülke içindeki örneklerinden ayrılmaktadır ve Koçarlı'da NIMBY belirge yaşandığı söylenebilir. Yerel halkın %60,2'lik kısmı daha bölgelerinde fazla rüzgâr türbini kurulmasını desteklemezken destekleyenlerin oranı üçe birden azdır.

Warren ve Birnie (2009) RES'ler ile ilgili tartışmaların karmaşık, çok yönlü ve tutkulu, derinlemesine sahip olunan inançlardan ve değer sistemlerinden kaynaklandığını altını çizmektedir. Yazarlar, rüzgâr enerjisine desteğin temel estetik veya ahlaki değerlerden çok sosyo-ekonomik faktörlerle ilişkili olduğunu savunmaktadır. Türkiye'de araştırmalar özellikle Koçarlı da yürütülen bu araştırmanın bulguları bu tezi onaylamaktadır.

## 4. Sonuç

Bu araştırmanın amacı Aydın ilinde Koçarlı ilçesi örneği ile yerel halkın RES'lere karşı kabul düzeylerini incelemektir. Türkiye'de hem diğer enerji kaynakları hem de rüzgâr enerjisi için sosyal kabul konularının bilim adamlarında yeterince çalışılmadığı vurgusu yapılmaktadır. Mevcut sınırlı sayıdaki RES araştırmalarının tamamının yerel halkın özellikle ekonomik ve çevresel endişelerine dikkat çekmekle birlikte NIMBY belirge varlığını inkâr ettiği görülmektedir. Koçarlı araştırması ise NIMBY belirge varlığını onaylayan ilk saha araştırmasıdır.

RES yatırımlarının büyüklükleri ile ilgili herhangi yasal bir üst limit yoktur ve bu yatırımlar çevresel etki değerlendirme (ÇED) süreçlerinden muaf tutulmaktadır. Rüzgâr enerjisinin çevre dostu bir yatırım olarak kabul edilmesi onun katı ÇED ve yer seçimi prosedürlerine tabi olmasını engellemiş, netice itibarıyla rüzgâr tribünleri doğal ve kırsal alanlara hızla nüfuz etmiş ve yerel yaşam alanlarının çok yakınlarına bile kurulabilmişlerdir. Türkiye'de ulusal politika yatırımları merkezi planlama uygulamasına tabidir ve rüzgâr enerjisi de bir devlet politikası olması sebebiyle RES yatırımları ile ilgili kararlar ulusal düzeyde alınmaktadır. Yatırımın yer alacağı yerel yönetimler bile bu karar verme süreçlerine dâhil edilmemektedir. Devlet 'karar ver-ilan et-savun' modeli ile kararlarını uygulamaktadır.

Hiç kuşkusuz devlet halkın ekonomik refahını geliştirmekle yükümlüdür. Ancak Türkiye'de RES yatırımlarının diğer gelişmekte olan ülkelerden Çin ve Malezya'da olduğu gibi yerel kalkınmayı sağlamadığı görülmektedir. Zaten büyük



şehirlere göç veren kırsaldaki halk hayatta kalmak ile RES'lerle mücadele etmek arasında bir seçim yapmak durumunda kalmıştır. Ülkede güçlü STKların olmayışı halkın bu memnuniyetsizliğini güçlü bir şekilde dile getirmesini engellemektedir.

RES'lerle ilgili ortaya çıkabilecek çatışmalara çözüm getirebilmek hem de RES gelişmelerini destekleme için yer seçimi ve tasarım sürecinde yerel çevresel ve sosyo-ekonomik öncelikler göz önünde bulundurulmalıdır. RES yatırımları ile yerel peyzajın korunması arasındaki denge sağlanmalı ve denetlenmelidir. RES'lerin olası çevresel etkileri yanında sosyo-ekonomik etkilerinin de ÇED yönetmeliklerine dâhil edilmesi gerekir.

Koçarlı ve diğer bölgelerdeki RES yatırımları için yerel toplum bakış açısını dikkate alan katılımcı planlama ve karar verme süreçleri oluşturulmalıdır. Bu doğrultuda mevcut yukardan aşağıya karar alma yöntemi terkedilerek yereldeki kurumların (örn; yerel yönetimler, üniversiteler, STKlar, vb.) katılımını içeren aşağıdan yukarıya karar alma yöntemleri uygulanmalıdır.

## Kaynakça

- Bell, D., Gray, T. & Haggitt, C. (2005). The 'social gap' in wind farm siting decisions: explanations and policy responses. *Environmental Politics*, 14 (4): 460–477.
- Bolinger, M. & Wiser, R., (2009). Wind power price trends in the United States: struggling to remain competitive in the face of strong growth. *Energy Policy*, 37 (3): 1061–1071.
- Brannstrom, C., Jepson, W. & Persons, N. (2011). Social perspectives on wind-power development in west Texas. *Annals of the Association of American Geographers*, 101 (4): 839–851.
- Brown, J.P., Pender, J., Wiser, R., Lantz, E. & Hoen, B. (2012). Ex post analysis of economic impacts from wind power development in U.S. counties. *Energy Economics*, 34: 1743–1754.
- Burningham, K. Barnett, J. & Thrush, D. (2007). The limitations of the NIMBY concept for understanding public engagement with renewable energy technologies: a literature review. *Manchester: Cambridge University Press*.
- Cohen, M.R. (2010). A Clean Energy Economy for North Dakota: Analysis of the Rural Economic Development Potential of Renewable Resources. Natural Resources Defense Council.
- Eksi, A., Kantarlı, İ.C., Yalçın, F.A. & Kirazlı, G., (2019). Enerji yatırımlarında sosyal kabulü etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi. *Strategic Public Management Journal*, 5 (10): 63-77
- Enerji Atlası, (2021). Aydın Elektrik Santralleri. <https://www.enerjiatlası.com/ruzgar/bagarasi-res.html>
- Eren, Z., Budak, D.B., (2012). Kırsal alanda yaşayan bireylerin rüzgâr enerji santralleri hakkındaki düşünceleri: Hatay İli örneği. *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28 (1): 91-100.
- Fıçı, F. (2008). Rüzgâr enerji sistemlerinin çevresel yönden incelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3: 49-55.
- George, D. Mallery, M. (2010). SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference, 17.0 update (10a ed.) Boston
- Guo, Y., Ru, P., Su, J. & Anadon, L.D. (2015). Not in my backyard, but not far away from me: Local acceptance of wind power in China, *Energy*, 82: 722–733.
- Gurbuz, I. B., Ozkan, G. (2019). What's going on at the universities? how much has the research revealed university students'attitudes towards the environment? a case study of bursa, turkey. *Applied ecology and environmental research*, 17(2), 5109-5138. [https://doi.org/10.15666/aer/1702\\_51095138](https://doi.org/10.15666/aer/1702_51095138)
- Gürbüz, İ., Erol, A. O. & Yavuz, O. (2002). Dünya'da Türkiye'de kırsal turizm. Türkiye V. Tarım Ekonomisi Kongresi'nde sunulmuştur. 18-20 Eylül 2002. Erzurum, Türkiye.
- Hattam, C., Hooper, T. & Beaumont, N. (2015). Public perceptions of offshore wind farms. The Crown Estate, ISBN: 978-1-906410-66-7
- Hoen, B. (2006). Impacts of windmill visibility on property values in Madison County, New York, Bard College-Bard Center for Environmental Policy, New York, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış).
- Jobert, A. Laborgne, P. & Mimler, S. (2007). Local acceptance of wind energy: factors of success identified in French and German case studies. *Energy Policy*, 35 (5): 2751-2760.
- Johansson, M., & Laike, T. (2007). Intention to respond to local wind turbines: the role of attitudes and visual perception. *Wind Energy*, 10: 435-451.
- Jones, C.R., & Eiser, J.R. (2010). Understanding 'local' opposition to wind development in the UK: how big is a backyard? *Energy Policy*, 38 (6): 3106-3117.
- Kalaycı Önaç, A., Aktaş, E., Balık, G. & Birişçi, T., (2017). Rüzgâr enerji santralleri hakkında yerel halkın görüşleri üzerine bir araştırma, *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5 (60): 306-320.
- Kontogianni, A., Tourkolias, C., Skourtos, M. & Damigos, D., (2014). Planning globally, protesting locally: Patterns in community perceptions towards the installation of wind farms. *Renewable Energy*, 66: 170-176
- Leistritz, F.L., & Coon, R.C. (2009). Socioeconomic Impacts of Developing Wind Energy in the Great Plains. *Great Plains Research*, 19(1): 3-12
- Moula, M.M.E., Maula, J., Hamdy, M., Fang, T., Jung, N., Lahdelma, R., (2013). Researching social acceptability of renewable energy technologies in Finland,. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2 (1), 89-98.
- Mulvaney, K.K., Woodson, P., Prokopy, L.S., (2013). A tale of three counties: Understanding wind development in the rural *Midwestern United States. Energy Policy*, 56: 322 - 330.
- Munday, M., Bristow, G., & Cowell, R., (2011). Wind farms in rural areas: How far do community benefits from wind farms represent a local economic development opportunity? *Journal of Rural Studies*, 27 (1): 1-12.
- Palabıyık, H., Kara M, (2015). Rüzgar enerji santralleri ve halkın kabulü: Çanakkale-Erenköy örneği. 1. Uluslararası Avrasya Enerji Sorunları Sempozyumu Bildiri Kitabı, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Yayın No: 3, pp. 293-309.
- Pedersen, E. & Persson Waye, K. (2007). Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. *Occupational and Environmental Medicine*, 64(7):480-486
- Slattery, M.C., Johnson, B.L., Swofford, J.A. & Pasqualetti, M.J., (2012). The predominance of economic development in the support for large-scale wind farms in the U.S. Great Plains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (6): 3690–3701.
- Sunak Y, Madlener R, 2016. The impact of wind farm visibility on property values: A spatial difference-in-differences analysis, *Energy Economics*, 55: 79-91.
- Swofford J, Slattery M, 2010. Public attitudes of wind energy in Texas: local communities in close proximity to wind farms



- and their effect on decision-making. *Energy Policy*, 38 (5): 2508–2519.
- Taşkın, E., Yılmaz, M., & Kılıç, Ç. (2020). Rüzgâr Enerji Santrallerinin Ekonomik Etkileri ve Sosyal Kabul: Mucur Örneği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 18 (2): 296 – 319.
- van der Horst, D., (2007). NIMBY or not? Exploring the relevance of location and the politics of voiced opinions in renewable energy siting controversies. *Energy Policy*, 35 (5): 2705–2714.
- Warren, C., & Birnie, R., (2009). Re-powering Scotland: wind farms and the ‘energy or environment?’ Debate. *Scottish Geographical Journal*, 125 (2): 97–126.
- Warren, C.R., Lumsden, C., O’Dowd, S. & Birnie, R.V., (2005). Green on green: public perceptions of wind power in Scotland and Ireland. *Journal of Environmental Planning and Management*, 48 (6): 853–875.
- Warren, C.R., & McFadyen, M., (2010). ‘Does community ownership affect public attitudes to wind energy? A case study from south-west Scotland’, *Land Use Policy*, 27 (2), 204-213.
- Wolsink, M., (2007a). Planning of renewables schemes. Deliberative and fair decisionmaking on landscape issues instead of reproachful accusations of non-cooperation. *Energy Policy*, 35 (5): 2692-2704.
- Wolsink, M., (2007b). Wind power implementation: the nature of public attitudes: equity and fairness instead of ‘backyard motives. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 11 (6): 1188–1207.
- Wüstenhage, R., Wolsink, M., Bürer, M., (2007). Social acceptance of renewable energy innovation: an introduction to the concept. *Energy Policy*, 35 (5): 2683-2691.
- Yiğit, M.E. & Akpınar M.E. (2021). Rüzgar Türbin Kulesi Alternatiflerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 386-393.
- Yang WY, (1964). Zirai İşletmecilikte Tetkik ve Araştırma Metotları, E. Ü. Ziraat Fakültesi Matbaası (Çeviren: Metin Talim), İzmir.
- Yuan, X., Zuo, J., Huisingh, D., (2015). Social acceptance of wind power: a case study of Shandong Province, China, *Journal of Cleaner Production*, 92: 168-178.
- Zerrahn, A., (2017). Wind power and externalities. *Ecological Economics*, 141: 245–260.



# Kentiçi Toplu Taşıma Araçları için Performansa Dayalı Hakediş Sistemi: İstanbul Örneği Modeli

Uğur Cora<sup>1\*</sup>, Recep Kışla<sup>2</sup>, Özüm Asya Su<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7316-065X), [ugur.cora@iett.gov.tr](mailto:ugur.cora@iett.gov.tr)

<sup>2</sup> İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7333-4090), [recep.kisla@iett.gov.tr](mailto:recep.kisla@iett.gov.tr)

<sup>3</sup> İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4765-9278), [oakaynarca@iett.gov.tr](mailto:oakaynarca@iett.gov.tr)

(İlk Geliş Tarihi 9 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 21 Ekim 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.893582)

**ATIF/REFERENCE:** Cora, U., Kışla, R. & Su, Ö A. (2021). Kentiçi Toplu Taşıma Araçları için Performansa Dayalı Hakediş Sistemi: İstanbul Örneği Modeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 232-241.

## Öz

Dünya genelinde toplu ulaşım hizmeti kamu ve özel sektör aracılığıyla, farklı sözleşme modelleri çerçevesinde yürütülmektedir. Bu kapsamda en çok tercih edilen sözleşme modeli Kalite Teşvikli Brüt Maliyet Sözleşme Modelidir. Bu sözleşme modelinde sağlanan hizmetin kalitesi ve gelirin gideri karşılama oranının artırılması ile verilen sübvansiyon miktarlarının azaltılması esas alınmaktadır.

Türkiye’de ise toplu ulaşım hizmetinin önemli bir kısmı özel sektör aracılığıyla, Net Kontrat Maliyet Sözleşmeleri ile gerçekleştirilmektedir. Uygulanan sözleşme modelinde kamu ve toplu ulaşım işletmecileri için karşılıklı kazanç ilişkisi göz önünde bulundurulmaktadır. Özellikle lastik tekerlekli ulaşım sistemleri için gelirin gideri karşılama oranının yüksek ve planlamanın stabil olduğu koşullarda tercih edilen bu model; günümüzde artan maliyetler ve gelişen raylı sistem ağı ile beraber yeni hat planlamalarını ile mevcut hatların reorganizasyonunu gerekli kılmakta dolayısı ile mevcut model ile devam edilmesini bir hayli zorlaştırmaktadır. .

İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından 2016 yılında tamamlanan TUYS Projesi (Toplu Taşıma Yönetim Sistemi) kapsamında ortaya konulan yeni sözleşme modeli esasınca, mevcut durumdaki sorunlara çözüm sunulurken; işletmecilerin gelir riskinden bağımsız, kısmi performans kriterlerini esas alan yenilikçi bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Yeni model ile toplu ulaşımın bütün modlarında entegrasyona ve esnek planlamaya imkân sağlayan, işletmecilerin gelir kaygısını ortadan kaldıran, ayrıca sunulan hizmetin kalitesini beraberinde müşteri memnuniyetini arttıracak sürdürülebilir bir sözleşme konsepti tasarlanmıştır.

Bu çalışmada İstanbul için, toplu taşıma hizmeti sunan ilgili otorite ve operatörler arasındaki ilişkilerin düzenlendiği yeni sözleşme modeli incelenmiştir. İstanbul’da özel halk otobüsü işletmecisi statüsünde hizmet veren 3.041 özel taşımacının COVID-19 öncesi son 6 aylık işletme ve finansal verileri analiz edilerek, yeni modelle çalışması durumunda 2 modelin finansal açıdan çok yönlü değerlendirilmesine yer verilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Kent İçi Toplu Ulaşım, Performansa Dayalı Hakediş Modeli, Toplu Ulaşım Finansmanı, İstanbul Toplu Ulaşım Sistemi

## Performance-Based Regulation for Public Transport Systems: A Case Study Model in İstanbul

### Abstract

Public transportation operation runs different contract models by public and private sectors all around the world. The most preferable contracting model is performance based contracting model in this perspective. This contracting model basis that increase provided service quality and return of investment rate unlike decrease subsidy amount. Most of public transportation operations runs by private sector based on net contracting model. Applied that model which is operated by public and private cooperation depend on win win model.

Net contracting model is preferred beneath stabil planning facility and high return of investment rate, but nowadays has to reorganized under increasing cost and developing rail system round with new route planning. In this situation makes effectiveness of current model debatable. Based upon new contracting model put forward within the scope of TUYS(Public Transportation Management System Project) completed by İBB, İETT General Directorate in 2016, by offering solutions to the existing problems; an innovative approach based on partial performance criteria independent of the income risk of the operator has been presented. With this model which is put forward by İETT, give chance to integrated and flexible planning, get rid of income concern, surge service quality and customer satisfaction for all transportation models. In this article is examined new model for authority and operator which responsible for operate public transportation new model for İstanbul. In the current situation, payment based on new contracting model

for average scale line is examined and compared with the old model and the financial multi-dimensional evaluation of new model in terms of operator and authority is included.

**Keywords:** Urban Public Transportation, Performans Based Public Transportation System, Public Transportation Finance, Istanbul Public Transportation System

- Operatörlerin performanslarını arttırmaya yönelik teşvik mekanizması bulunmamaktadır.

## 1. Giriş

Dünyada her geçen gün artan nüfus birçok konuda yenilikçi yaklaşımları zorunlu kılmaktadır. Bunların başında toplu ulaşım hizmetleri gelmektedir. Şehirlerdeki toplu ulaşım hizmetlerinin çekici hale getirilebilmesi, mevcut durumdaki olumsuz etkileri azaltarak veya en azından bu etkilerin kontrol altına alarak mümkün kılınabilmektedir. Aynı zamanda şehirlerin gelişmişliği ile de doğru orantılı olan toplu ulaşım sistemleri, hareketliliği artırarak sosyal ve ekonomik açıdan da fayda sağlamaktadır.

Sürdürülebilir şehir konsepti endeksine göre ise şehirlerdeki toplu ulaşım hizmeti 3 ana kategori üzerinden değerlendirilmektedir. İlk kriter olan insan faktörü, şehir içindeki seyahat kalitesine, ikinci kriter seyahat araçlarının ne kadar çevreci olduğuna, son kriter ise ulaşım sistemlerinin karlılığına dair analizler gerçekleştirilerek yaklaşım sunmaktadır. Bu son değerlendirme kriterine göre finansal açıdan karlı toplu ulaşım sistemleri, sürdürülebilir toplu ulaşım açısından önem teşkil etmektedir.

İstanbul'da toplu ulaşım hizmetleri kamu ve özel sektör kaynaklarıyla sunulmaktadır. Karayolu ve denizyolu ulaşımında hem kamu hem özel sektör kaynaklarıyla birlikte hizmet veriliyorken, raylı sistemlerde yalnızca kamu kaynaklarıyla hizmet sağlanmaktadır. Mevcut durumda özel sektör aracılığıyla verilen toplu ulaşım hizmetleri, kurumsal bir yapıdan uzak, bireysel işletmeciler tarafından yürütülmektedir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB), tam entegre, esnek, güvenli, verimli ve konforlu bir toplu taşıma hizmeti sağlayabilmek için, kendisine bağlı olan özel işletmecilere sundukları hizmetlere karşılık yapılan hakediş ödemelerinde Net Maliyet Sözleşme Modelinden performans dayalı hakediş sistemini esas alan Brüt Maliyet Sözleşme modeline geçiş yapmıştır. Konuyla ilgili olarak hazırlanan "İstanbul Toplu Taşıma Yönetmeliği" de İBB Meclisince kabul edilmiştir (İBB, 2020).

Yürütülen uzun soluklu çalışmalar ve TUYS projesi sonucunda, İstanbul toplu ulaşım sisteminin de yapısı göz önünde bulundurularak; lastik tekerlekli toplu ulaşım sistemleri için performansa dayalı hakediş ödemesini esas alan Kalite Teşvikli Brüt Maliyet Sözleşme Modeline geçişin gerekliliği ortaya konulmuştur. Bu kapsamda bugüne kadar kullanılan Net Maliyet Sözleşme Modeline dair aşağıdaki hususlar tespit edilmiştir;

- Hizmet sunulan hatlarda rekabeti teşvik etmekte; bu durum daha fazla yolcu taşıma isteğini artırdığı için hizmet kalitesini düşürmektedir.
- Özel sektör tarafından karlılığın yüksek olduğu hatlarda çalışmaya yönelik taleplere neden olmakta; bu durum planlamaya dair kısıtlar ve etkin planlama sağlanamamasına neden olmaktadır.
- Farklı hatlar arasında gelirin gideri karşılama oranlarında meydana gelen farklılıklar, işletmecilerin gelir dağılımında dengesizliklere neden olmakta; bunun sonucu olarak sanal hat değerleri oluşmaktadır.

Sürdürülebilir toplu ulaşım sistemi için sahip olunan kaynakların etkin ve verimli olarak planlanabileceği, birbirleriyle entegrasyonun sağlanabileceği yenilikçi bir hakediş modelinin kurgulanması bu anlamda çok önemlidir.

## 2. Literatür Araştırması

Dünya örneklerine bakıldığında toplu ulaşım sistemlerinde birçok otorite ve operatörün benzer yaklaşımlar sergiledikleri görülmüştür.

Bu kapsamda ilk olarak güçlü entegrasyon sağlanması için ortaya konulan uygulamalar göze çarpmaktadır. Dünyanın önde gelen şehirlerinde otoriteler tarafından toplu ulaşımında planlama ve koordinasyonun sağlanılmasının yanısıra beraberinde ücretlendirme, bilgilendirme ve düzenlemeler ile ilgili daha büyük ölçekli ve bütüncül yaklaşımlar sergilenmektedir.

Ayrıca toplu ulaşım sistemlerinde kamu imkânları sunulmasına alternatif olarak farklı otoriteler tarafından pazar içerisinde rekabet potansiyeli oluşturulmaktadır. Buna bağlı olarak İETT gibi otoriteler operatör gibi hizmet sunmak yerine, hizmet yükümlülüklerini uygulatmaktan sorumlu merciler olarak rol almaktadırlar.

Bu ve benzeri eğilimler, ortaya konulan toplu ulaşım piyasası rekabeti ile uyumlu hibrit yapıların benimsenmesini sağlamaktadır. Otoriteler, proaktif planlama ve çok yönlü güçlü entegrasyon sağlayarak hibrit hizmet sözleşmeleri ile yenilikçi hakediş sistemlerini uygulanabilir kılarak, sürdürülebilir toplu ulaşım hizmeti sunmayı amaçlamaktadırlar.

Bu kapsamda dünya şehirlerinin eğilimleri aşağıdaki Şekil-1'de gösterilmiştir.

Rekabet için Potansiyel Yok	Hibrid Modeller: Piyasa rekabeti ile uyumlu			Piyasa Rekabeti
	Kamu Monopolü	Hizmet Sözleşmeleri ile Proaktif Planlama	Operatörler güzergah ve/veya bölgelerde hizmet vermektedir. Devlet hizmet yükümlülüklerini uygulamaktan sorumludur.	
Kamunun planlara katılması, sahiplenmesi ve işletmesi	İdare tarafından detaylı hizmet planlama, operatör işletmelerden temin			Araç lisanslama; hizmet yükümlülükleri yok; hizmet miktarı sınırlanabilir. Sektör kendi içinde şekilleniyor.
Çok Güçlü Entegrasyonu				
Güçlü Entegrasyon				
Orta Entegrasyon				
Hat İçi Koordinasyon				
Az yada Hiç Entegrasyon				

Lejant: → Seul → Sao Paulo → Londra → Indore → Ahmedabad → Mumbai → Bangalor

Şekil 1. Şehirlerin Sözleşme Tipi Tercihi (UITP, 2016c)

## 2.1. Toplu Ulaşım Sözleşme Çeşitleri

Toplu ulaşım sistemlerinde dünya genelindeki uygulamalar ve akademik çalışmaların incelenmesi sonrasında operatörler ile otoriteler arasında sunulan hizmete ilişkin farklı yaklaşımları esas alan sözleşme türlerinin yer aldığı tespit edilmiştir. Genel manada söz konusu sözleşmeler operatör ve otoritenin arasında ortaya çıkan risklerin paylaşımına göre şekillenmektedir. (Saussier,2015)

Bu kapsamda ortaya çıkan riskler;

- Maliyet Riski
- Gelir Riski
- Pazar Riski
- Performans Riski
- Verimlilik Riski
- Altyapı Riski
- Yatırım Riski
- Rekabet Riski
- Mevzuat Riski
- İtibar Riski

Yukarıda yer verilen riskler arasından toplu ulaşımında kullanılan sözleşmelere esas en önemli riskler maliyet ve gelir riskleridir. Diğer riskler yan unsur olarak değerlendirilmektedir. Araç alım, bakım, işçilik, yakıt (enerji) maliyetleri ile genel giderler gibi ana girdilerin beklenenin üzerinde değişime uğraması maliyet risklerini oluştururken; yolculuk ücretleri ve yolculuk talebindeki beklenenin altında değişim gerçekleşmesi ise gelir risklerine sebep olmaktadır.

Dünya geneline bakıldığında zamana bağlı yolculuk gelirinin giderleri karşılama oranı Avrupa'da %50, Amerika'da %35, Asya'da %85 civarında olduğu görülmektedir. Bu iki temel risk kaleminin otorite ve operatör arasında paylaşılması durumuna göre toplu ulaşım sistemlerinde sözleşme modelleri şekillenmektedir (UITP, 2016).

Dünya genelinde toplu ulaşım sistemlerinde yürütülen sözleşmelere esas kullanılan 4 ana model yer almaktadır;

**Net Maliyet Sözleşme Modeli:** Operatör maliyet ve gelir riskini üstlenmektedir. Otorite operatörlere doğrudan veya ihale yöntemiyle işletme hakkını verir. İşletme gelirleri çoğunlukla yolculuk gelirinden oluşur. İstanbul toplu ulaşımında Halk otobüsleri, minibüsler ve Metro İstanbul A.Ş. bu sözleşme modeli ile işletilmektedir (Camen, 2011). Net Maliyet Sözleşmesi dünyada en az uygulanan sözleşme olmasına karşın Türkiye'de en çok kullanılan sözleşme modelidir.

**Brüt Maliyet Sözleşme Modeli:** Maliyet riskini operatör üstlenirken gelir riskini otorite üstlenmektedir. Operatöre verdiği hizmet karşılığında kilometre başı ve/veya çalışma süresi esas alınarak ödeme gerçekleştirilmektedir. Otoritenin topladığı ücret hizmet bedelinden fazla ise otorite kar etmiş olurken, gelir gideri karşılayamaz ise otorite sistemi sübvans eder. Rekabete açık pazarlarda en yaygın kullanılan sözleşme türü olarak Brüt Maliyet Sözleşmeleri karşımıza çıkmaktadır. Net Maliyet Sözleşmelerinde yolda rekabet gerçekleşirken, Brüt Maliyet Sözleşmelerinde yol için rekabet edilir (UITP, 2010).

Uygulamada en fazla karşımıza çıkan Net ve Brüt Maliyet Sözleşme Modelleri arasındaki temel farklılık, maliyet ve gelir risk paylaşımıdır. Net Maliyet Sözleşmesi gelirlerin belirsizliği nedeniyle istikrarsız durumları oluşturmaktadır. Brüt Maliyet Sözleşmesinde Net Maliyet Sözleşmesinden farklı olarak

operatöre sadece kat edilen mesafe üzerinden ödeme yapıldığı için yolcu memnuniyetinde düşüş olasıdır. Sözleşme türlerinde trendin Kalite Teşvikli Brüt Maliyet Sözleşmesine doğru yön değiştirdiği görülmektedir.

**Kalite Teşvikli Brüt Maliyet Sözleşme Modeli:** Otorite, operatörden önceden planlanan hizmet kriterlerine göre hizmet alımı yapmaktadır. Aynı şekilde operatör maliyet riskini üstlenirken, otorite de gelir riskini üstlenmektedir (UITP, 2016b). Brüt Maliyet Modelinde işletmeciyeye genellikle km ve zaman üzerinden ödeme yapıldığı için hizmet kalitesini ve yolcu memnuniyetini artırmaya yönelik herhangi bir teşvik bulunmamaktadır. Kalite Teşvikli Brüt Maliyet Sözleşmesi, Brüt Maliyet Sözleşmesine ek olarak belirlenen performans kriterlerine göre ödül/ ceza sistemi ile bu sorunların giderilmesini esas alır. Belirlenen performans kriterleri çeşitli denetim faaliyetleri (memnuniyet araştırmaları, gizli müşteri araştırmaları ve yazılım göstergeleri) ile denetlenmektedir. (Walters,2008) Bu denetim faaliyetleri ile toplu ulaşımında verilen hizmet kalitesi ölçülmekte ve yönetilmektedir (UITP, 2016).

**Yönetim Sözleşme Modeli:** Hem maliyet hem de gelir riskini otorite üstlenir. Otorite profesyonel bir yönetim hizmeti satın almaktadır. Yani operatör sadece operasyonun yönetimini yapmaktadır (UITP, 2016c). Yönetim Sözleşme modelinin en bilinen uygulaması Dubai'de işletilmektedir. Dubai'de İngiliz firması olan Serko şirketi bu model ile raylı sistemlerin operasyonlarını yürütmektedir (Yıldızgöz, 2010).

Yukarıda incelenen sözleşme modelleri maliyet ve gelir risklerine göre karşılaştırılması Tablo-1 de verilmektedir.

Tablo 1. Sözleşme Modelleri Maliyet ve Gelir Risk Karşılaştırması

Model Tipi	Maliyet Riski	Gelir Riski
Net Maliyet Sözleşme Modeli	Operatör	Operatör
Brüt Maliyet Sözleşme Modeli	Operatör	Otorite
Kalite Teşvikli Brüt Maliyet Sözleşme Modeli	Operatör	Otorite
Yönetim Sözleşme Modeli	Otorite	Otorite

## 2.2. Londra - TfL

Londra'daki toplu taşıma sistemlerinden sorumlu olan Transport for London (TfL) entegre bir kurum olarak 2000 yılında kurulmuştur. TfL'in birincil rolü, Londra Belediyesinin ulaşım stratejilerini uygulamak ve başkent genelinde taşıma hizmetlerini yönetmektir. TfL yapı itibarıyla; hem Ulaştırma Bakanlığı yoluyla merkezi hükümete hem de Belediyeye bağlıdır ve kendine bağlı şirketler grubundan oluşmaktadır. TfL, ulaşım otoritesi olarak yalnızca toplu ulaşım ile değil sinyalizasyon, trafik yönetimi, trafik sıkışıklık ücretlendirmesi (congestion charging) gibi konularla ulaşımın tamamı ile ilgilenmektedir (Amaral, 2012).

TfL'in Londra genelinde sorunlu olduğu toplu ulaşım hizmet kolları aşağıda gösterilmektedir.

- Londra Otobüsleri
- Londra Metroları
- DLR (Hafif Metro)
- Nehir Servisleri
- Victoria Coach İstasyonu (Otobüs Terminali)



- Overground (Tramvay)

TfL'in toplu ulaşım otoriteliliği kapsamında sorumlu olduğu alanlar aşağıda gösterilmiştir.

- Paralı yolları yönetmek
- Londra trafik hizmetlerini yürütmek (trafik sinyalizasyonu, trafik polisliği vb)
- Ticari araç kiralamaları ve taksilerin yönetmek
- Yürüme ve bisiklet yollarını yapmak
- Engelli insanlar için toplu ulaşımı erişebilir hale getirmek

TfL'in lastik tekerlekli toplu ulaşım hizmetleri (otobüsler) için gerçekleştirdiği otorite-operatör sözleşmeleri esas alınarak söz konusu İstanbul toplu ulaşım sistemi için öngörülen yeni hakediş modeline örnek teşkil edecek hususlara aşağıda yer verilmiştir. TfL tarafında yapılan sözleşmeye göre;

- Arriva, First Group, Go Ahead gibi 7 operatör ile otorite arasında gerçekleşmiştir.
- Her operatör ile ayrı anlaşma imzalanmaktadır.
- Sözleşmeye göre işletmeciler rekabet koşulları içerisinde ihale ile belirlenir.
- Sözleşme Kalite Teşvikli Brüt Maliyet Sözleşmesidir.
  - ✓ Maliyet riski operatöre aittir.
  - ✓ Gelir riski otoriteye aittir.
- Sözleşmelerin süresi 5+2 yıl olarak (Raylı sistemlerde 7+2 yıldır) belirlenmiştir.
- Sözleşme kapsamında gerçekleştirilen hakediş; işletmecilerin gerçekleştirdiği yol uzunluğu (mil/km) ve hizmetin genel güvenilirliğine (zamanındalık) göre yapılır.
- Sistemdeki otobüsler operatöre ait olabildiği gibi operatör tarafından kiralanmış da olabilmektedir.

### Sözleşme Ödemeleri ve Gelir

Operatörler, aylık periyotlarda belirlenen hesap dönemleri için toplamda 13 dönem, her yılın nisan ayından bir sonraki yılın mart ayına kadar çalışır.

Ödemelerin 75%'i ilgili dönem içerisinde, kalan kısmı ise varsa yapılacak kesintilerden (kayıp kilometre vb.) sonra süreç sonunda yapılır (Cantillon, 2006).

TfL'in uyguladığı Kalite Teşvikli Sözleşme ile 3 farklı bonus/ceza ödemeleri gerçekleşmektedir;

- Güvenilirlik Performans Ödemeleri
- Sözleşme Uzatma
- Kalite Performans Ödemeleri

### 2.3. Singapur - LTA

Land Transport Authority (LTA), Singapur Ulaşım Bakanlığı bünyesinde 1995 tarihinde şehir içi hareketliliği sağlamak üzerine her alanında yasal olarak yetkilendirilmiş bir kurumdur. Tüm toplu ulaşım modlarını düzenleme, denetleme ve koordinasyon yetkisi otoriteye verilmiştir.

LTA'nın yanı sıra Singapur toplu taşımasında önemli rol oynayan bir diğer aktör de kanun ile kurulmuş olan Toplu Taşıma Konseyi (Public Transportation Council, PTC)'dir. PTC otobüs ve tren araçlarının bilet ödeme hizmetlerini ve ücret tarifelerini düzenleyen, buna ek olarak da Ulaşım Bakanlığı'nı toplu ulaşım konularında besleyen bağımsız bir yapıdır. (Leong, 2016)

LTA, merkezi otobüs ağı planlayıcısı olarak sistem maliyetlerini dengelerken yolculuk kalitesini arttırmaya odaklanan etkili, entegre ve sürdürülebilir bir lastik tekerlekli toplu ulaşım sistemini sağlamayı hedeflemektedir. LTA, hedefleri doğrultusunda Otobüs hatları işletimi için Brüt Maliyet Sözleşme Modeli uygulamaktadır.

LTA tarafından gerçekleştirilen sözleşmeye göre;

- Tower Transit, Go-Ahead, SBS Transit ve SMRT Buses gibi operatör ile otorite arasında gerçekleşmiştir.
- Her operatör ile ayrı anlaşma imzalanmaktadır.
- Sözleşmeye göre işletmeciler rekabet koşulları içerisinde ihale ile belirlenir.
- Sözleşme Brüt Maliyet Sözleşmesidir.
  - ✓ Maliyet riski operatör üstlenir.
  - ✓ Gelir riski otorite üstlenir.
- Sözleşme süresi 5+2 yıl olarak belirlenmiştir.
- Sözleşmeler 1 Eylül 2016 yılında uygulamaya alınmıştır.
- Bilet gelirlerini otorite toplar.
- Hakediş ücretleri performans standartlarına göre hizmet vermek üzere yapılan kilometreye göre dağıtılır. (Hizmet Kalite Standartlarına göre mali cezalar uygulanır.)
  - Otorite tüm otobüs varlıklarına sahip olup işlettilmesini Brüt Maliyet Sözleşmesine göre sağlamaktadır.

PTC, araçlarını korumak ve otobüs hizmetini sağlamak için tüm operatörlerin bağlı kaldığı hizmet kalitesi standartlarını oluşturmuştur. Bu standartların uygunluğu oluşturulan kurullar vasıtasıyla denetlenmekte ve uygulanabilirliği sağlanmaktadır (Leong, 2016).

### 3. İstanbul Toplu Ulaşımı Mevcut Durum Analizi ve Yenilikçi Yaklaşım

İstanbul toplu ulaşım sistemi kamu otoritesi tarafından regüle edilmekte; bu kapsamda kamunun da içerisinde yer aldığı bireysel ve kurumsal operatörler tarafından farklı sözleşme modelleri ile işletilmektedir. Lastik tekerlekli toplu ulaşımın önemli bir oranı bir kamu kurumu olan İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından yürütülürken, bir kısmı süreli diğer bir kısmı da süresiz (tahditli) çalışma lisanslarına sahip olan bireysel taşımacılar tarafından Net Maliyet Kontrat Modeli ile işletilmektedir.

Net Maliyet Kontrat Modeli ile ifa edilen toplu taşıma hizmetinde hizmetin üretimi için katlanılan maliyetler sadece yolculuk gelirleri ile karşılanmış ancak, yapılan düzenlemeler ile toplu taşımada ücretsiz ve indirimli tarifeden yararlanan kesimlerin sayısı arttıkça zaman içinde yolculuk gelirlerinin cari işletme giderlerine yetmediği; akaryakıt, işçilik, amortisman, sigorta, tazminat ödemeleri ve bakım giderlerindeki artışa karşılık yolculuk ücretlerindeki artışlar yetersiz kalmış, yolculuk gelirleri ile genel giderler karşılanamaz hale gelmiştir. Bu durum, toplu taşıma hizmetinin sürdürülebilirliğini ciddi şekilde tehdit etmiştir. Bununla beraber artan ulaşım ihtiyaçlarına istinaden yapılan raylı sistem ağının genişlemesi, daha çok yolcu kapasiteli araçlara toplu taşımanın özendirilmesi, lastik tekerlekli toplu taşıma araçlarının daha esnek ve planlanabilir bir modelle ana hattın omurgasını oluşturan raylı sistem ağlarına besleme hatları oluşturacak yeni bir model arayışına sevk etmiştir.

Otobüslerle yapılmakta olan toplu taşıma hizmetinde elde edilen yolculuk gelirlerinin işletme giderlerini karşılamaması, taşıma kapasitesine rağmen araç ve sefer başına yolculukların uluslararası standartlarda olmaması (standart m<sup>2</sup> başına 4 yolcu, yoğun hatlarda 8 yolcuya kadar çıkabilmekte), yolcu memnuniyeti sağlayacak esnek planlama yapılamaması gibi nedenlerle, kaynakların daha verimli bir şekilde kullanılması amacıyla toplu taşıma işletme modelinin idare eliyle yeniden yapılandırılması zorunlu hale gelmiştir. (İmre,2017)

Dünya ölçeğindeki toplu taşıma sisteminin devlet veya kamu otoritesi eliyle desteklenmeden sürdürülebilir bir yöntem olmadığı kabul edilmiştir. Bu kapsamda özel işletmecilere, öğrenci ve yaşlı vatandaşlarımız gibi diğer yolcu gruplarına uygulanan indirimli ve ücretsiz tarifelerin maliyetleri ile artan işletme maliyetlerini kısmen hafifletmek amacıyla destekleme ödemeleri yapılmaktadır. Net Maliyet Kontrat modelinde yapılan destekleme ödemeleri;

- Yolculuk Basım Sübvansiyon Desteği
- Öğrenci Abonman Fark Desteği
- Ücretsiz Gün (Bayram, Sınav vs) Sübvansiyon Desteği
- Covid-19 Sübvansiyon Desteği
- Ücretsiz Yolcu (65+) Sübvansiyon Desteği (Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı) şeklindedir.

Net Kontrat Modeli ile işletilen mevcut toplu taşıma işletme modeli, işletmecilerin yolculuk gelirlerine dayalı olup özellikle özel işletmeciler bakımından toplu taşıma hizmetinin sürdürülebilirliği daha fazla yolcu taşıma imkânına bağlı olmaktadır. Bu durum; özel işletmecileri yolcu yoğun hatlarda çalışma ve tek seferde daha fazla yolcu taşımaya teşvik ettiğinden, yolcular bakımından standartların üzerinde yoğun araçlarda seyahat etme konforsuzluğu, toplu taşıma sisteminin tamamında ise mevcut kapasiteyi verimli bir şekilde kullanamama sonucunu doğurmaktadır. Ayrıca hatların gelir durumlarının farklı olması, mevcut sistemde dengesiz bir gelir dağılımına ve rekabete sebep olmaktadır. İşletmeciler arasındaki bu rekabet, kaynaklar planlanırken esnek planlama yapılamamasına, yeni açılan metro sistemleri ve şehirde oluşan yeni çekim merkezlerinin değiştirdiği yolculuk taleplerinin yeterince karşılanamamasına neden olmaktadır.

Yukarıda anlatılan sorunlara yönelik hususlara bağlı olarak, toplu taşıma hizmet kalitesinin düşmesi, değişen ulaşım ihtiyaçlarına karşın etkin planlama yapılamaması ve mevcut durumda işletmecilerin performanslarını artırmaya yönelik herhangi bir teşvikin bulunmaması, mevcut gelir sisteminin işletmeciler arasında adaletsizliğe sebep olması ve sürdürülebilir olmaması gibi sebeplerden dolayı taşımacıların kar kaygısını ortadan kaldıracak, yolculuk gelirinden etkilenmeyen yeni bir gelir paylaşımı sisteminin kurgulanma ihtiyacı doğmuştur.

Bireysel işletmecilerin kurumsallık kazanamamasından dolayı literatür kısmında yer verilen iyi uygulama örneklerinin İstanbul koşullarında bire bir uygulanması mümkün gözükmemektedir. Bu sebeple araç bazlı bir hakediş modeli oluşturulması öngörülmüştür.

Bu kapsamda sisteme dair birtakım kısıtlar belirlenmiştir.

- Toplu ulaşım hizmeti sunan her taşımacının, hizmeti karşılığı yapılan hakediş ödemesinin bağımsız hesaplanması

- Kullanılan araçların kapasite, uzunluk ve yaş değerlerine göre ödemeye esas maliyet kalemlerinin farklılaştırılması
- Bağımsız her taşımacının farklı hat ve km'lerde çalışmasına karşın maliyetlerini karşılayıp eşit kar elde etmesi
- Araçların çalıştığı güzergâha göre işletme hızının değişmesi dolayısı ile yakıt tüketiminin dinamik hesaplanması
- Her aracın belirli döngüde eşit km yapmasının sağlanması

### 3.1. İstanbul için Önerilen Hakediş Modeli

Mevcut raylı sistem altyapısı ve planlanan altyapı gözetilerek özel halk otobüslerinin çalışmış oldukları güzergahların optimum faydanın sağlanması amacıyla yeniden planlanması ve esnafın yolculuk kaybı endişesi yaşamaması, her bir güzergah değişikliğini yargısal denetime taşımaması ve adil kazanç sağlanabilmesi için sunmuş oldukları hizmet karşılığında “sabit maliyet + değişken maliyet + kar esaslı”, kilometre bazlı hakediş sistemi tasarlanmıştır.

Sabit ödeme bir aracın bir ay boyunca hizmet sunmaması durumunda dahi ortaya çıkan maliyetler (personel, amortisman, kasko, trafik sigortası vb.) olup, değişken maliyetler ise km başı yakıt ve bakım& onarıma esas maliyet kalemlerinden meydana gelmektedir.

Hatların farklı çalışma koşulları; Trafik yoğunluğu, yol altyapısı, yol eğimi, indi bindi süreleri vb.gibi nedenlerle söz konusu hatlarda çalışan araçların ortalama yakıt tüketim miktarları değişiklik göstermektedir. Yakıt tüketimine etki eden bu farklılığı normalize etmek amacıyla hat efor katsayısı modellenmiştir.

Geliştirilen model ile özel taşımacıların beklentilerinin karşılanması, gelir ve gider kaygılarının ortadan kalkması ve adaletli bir gelir sistemi ile birlikte sürdürülebilir toplu ulaşım sistemi için tüm kısıtların ortadan kaldırılarak daha etkin planlama yapılabilmesi amaçlanmıştır.

Sürdürülebilir toplu ulaşım sistemi için ortaya konulan Yeni Modele esas hakediş hesaplaması;

$$A = SGO \times (SÖ + PÖ) + (HEK \times YM + BOM) \times GK + V$$

Burada;

- A = Araç Başlı Hakediş Tutarı
- SGO = Sefer Gerçekleştirme Oranı
- SÖ = Sabit Ödemeler
- PÖ = Performans Ödemesi
- HEK = Hat Efor Katsayısı
- YM = Yakıt Birim Ödeme
- BOM = Bakım & Onarım Birim Ödeme
- GK = Gerçekleşen Km
- V = Vergi

\* Vergi: Tüm maliyetler toplamının (performans ödemesi hariç) %3,75'i olarak hesaplanacaktır.

**Sefer Gerçekleştirme Oranı (SGO):**

$$SGO = (PGS + EPG)/(PS + PES - \sum OK) \times (\text{ÇG}/TG)$$

- PGS= Plan Gerçekleşen Sefer Sayısı
- EPG= Ek Plan Gerçekleşen Sefer Sayısı
- PS = Planlanan Sefer Sayısı
- PES = Planlanan Ek Sefer Sayısı
- OK<sub>N</sub> = İETT (Trafik, Toplumsal Olay, idari görev vb.) Kaynaklı Zayi Sefer Sayısı
- İK<sub>N</sub>= İşleten Kaynaklı Zayi Sefer Sayısı
- ÇG = Uygulama Ayı Çalışılan Gün Sayısı
- TG = Uygulama Ayı Toplam Gün Sayısı

Uygulama Ayı Toplam Gün Sayısı: Uygulama ayında İETT tarafından mücbir sebeple planlama yapılmayan günler varsa düşüldükten sonra kalan takvim günü sayısını ifade eder.

Zayi seferler İETT ve işleten kaynaklı olarak tasnif edilir. Sefer gerçekleştirme oranı hesaplanırken, İETT kaynaklı gerçekleşmeyen seferler zayi kabul edilmez. (EK-1)

**Sabit Ödemeler:** Km'den bağımsız olarak oluşan maliyet kalemleri; Personel, Amortisman, Kasko, Motorlu Taşıtlar Vergisi (MTV) vb. EK-2.

Sabit maliyetler içindeki amortisman bedeli 10 yıllık ekonomik ömür üzerinden hesaplanmış olup, 10 yaşından büyük araçlar için bu bedel ödenmez.

**Hat Efor Katsayısı (HEK):** Hatların farklı çalışma koşulları; Trafik yoğunluğu, yol altyapısı, yol eğimi, indii bindi süreleri vb.gibi nedenlerle söz konusu hatlarda çalışan araçların ortalama yakıt tüketim miktarları değişiklik göstermektedir. Yakıt tüketimine etki eden bu farklılığı normalize etmek amacıyla hat efor katsayısı modellenmiştir.

Tablo-2’de Hat Efor Katsayısı (HEK) esas bazı parametrelere yer verilmiştir.

Tablo 2. HEK Hesaplama Girdileri

Km Başına Maksimum Yakıt(Lt/Km)	0,55
Km Başına Minimum Yakıt(Lt/Km)	0,30
Km Başına Ortalama Yakıt(Lt/Km)	0,45
Maksimum Hız(Km/Sa)	39,4
Minimum Hız(Km/Sa)	9,1

Nihai halde Hat Efor Katsayısı formülü;

$$HEK=(0,55-((\text{Hattın İşletme Hızı}-9,1) / (39,4-9,1)) \times (0,55-0,30)) / 0,45 \text{ şeklinde uygulanacaktır.}$$

HEK, hesaplamasında herhangi bir hattın HEK katsayısı, sistemde normal kabul edilen değerlere göre olan sapmalarına göre hesaplanır. HEK için kullanılan değerler aşağıda açıklanmıştır.

- 0,55 lt 12 m bir aracın 1 km de tüketeceği maksimum yakıt miktarını,
- 39,4 sistemdeki araçların maksimum ortalama hızı,
- 9,1 sistemdeki araçların minimum ortalama hızı,
- 0,30 lt 12 m bir aracın 1 km de tüketeceği minimum yakıt miktarını,
- 0,45 lt 12 m bir aracın 1 km de tüketeceği ortalama yakıt miktarını, ifade eder.

Herhangi bir hattın işletme hızı; hat efor katsayısının hesaplanma ayı içerisinde hatta çalışan araçların gerçekleştirdikleri toplam kilometrenin toplam çalışma sürelerine (saat) bölünmesiyle hesaplanır.

Sefer süresi verisi alınırken, hattın standart sapmasının dışında olan veriler hesaplamaya dahil edilmez.

**Yakıt Birim Ödeme Tutarı:** Hakedişe konu uygulama ayı içerisinde Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) resmi internet sitesinde yayınlanan günlük motorin bayi satış fiyatları bülteni baz alınarak hesaplanır.

Maliyet tablosunda kullanılan akaryakıt birim fiyatı 01.01.2020 tarihli EPDK motorin fiyatına göre hesaplanmıştır. Hakediş ödemelerinde akaryakıt fiyatları aylık olarak EPDK fiyat verileri ve aşağıdaki tablo üzerinden güncellenir.

Tablo-3’de araç tiplerine göre ortalama yakıt tüketimleri verilmiştir. Araç tiplerine göre yakıt birim ödeme;

$$\text{Yakıt Birim Ödeme} = \text{Motorin Fiyatı} \times \text{Ortalama Yakıt Tüketimi}$$

Tablo 3. Araç Uzunluğuna Göre Ortalama Yakıt Tüketimleri

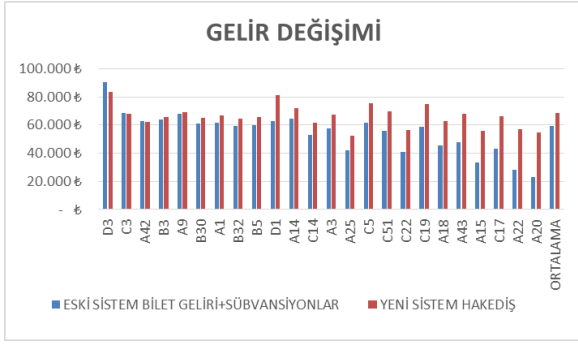
Araç Uzunluğu	12M	12M Çift Katlı	9,1-11M	8,1-9M	6,5-8M
Ortalama Yakıt (Lt/Km)	0,45	0,52	0,35	0,32	0,28

**Bakım & Onarım Birim Ödeme:** Bakım & Onarım Birim Ödemesi araç tiplerine göre farklılaşmakta olup EK-2 Maliyet tablosunda KM başına belirlenmiştir. Aylık 7.000-10.000 km arası için kilometre başına 0,10 ₺, 10.000 km’yi aşan kısmı için kilometre başına 0,25 ₺ ilave ödeme yapılır.

**Performans Ödemesi:** Performans ödemesi araç tiplerine göre farklılaşmakta olup EK-2 Maliyet tablosunda belirlenmiştir. Aylık 10.000 Km’yi aşan km için; maliyet tablosunda belirlenmiş olan performans ödemesinin 10.000’e bölünmesi sonucu bulunacak miktarın 10.000 km’yi aşan kilometre miktarı ile çarpılması sonucu ortaya çıkacak olan bedel ilave performans ödemesi olarak hesaplanır.

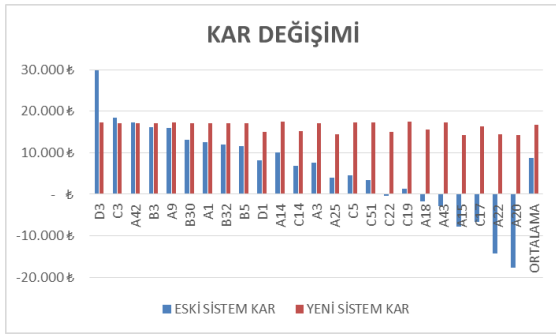
**Gerçekleşen Kilometre:** İlgili güzergâhlarda gerçekleşmiş sefer sayısı ile bu güzergâhların kilometresinin çarpımı ile elde edilir.

Yukarıda verilenler ışığında İstanbul toplu ulaşım sisteminde hizmet veren 3041 Özel Halk Otobüsü (ÖHO) ve İOAŞ işletmecisinin hakedişleri eski Net Maliyet Modeline ve yeni Brüt Maliyet Modeline göre hesaplamaları yapılmış, gelir ve karlılıklarda’ki değişimler Şekil-2 karşılaştırılmıştır.



Şekil 2. Gelir Değişimi

Gelir değişimi incelendiğinde işletmecilerin %91'nin geliri artmış, buna karşın %9'unun geliri azalmış, havuzdaki paranın daha adil dağılımı sağlanmıştır. Ortalama'da ise %10 yakın bir gelir artışı sağlanmıştır.



Şekil 3. Kar Değişimi

Karlılıklar incelendiğinde eski hakediş modelinde (Net Maliyet Modeli) aynı işletme hakları ile çalışmalarına karşın bazı işletmecilerin 30.000 tl'ye varan karlılıkla çalışmakta iken bazı işletmecilerin -15.000 tl'ye yakın zararlar çalıştıkları görülmektedir. Yeni hakediş sistemi (Brüt Maliyet Modeli) ile işletmeciler arasında ki kazanç adaletsizliği sonlandırılmış olup i aynı performansla çalışan işletmecilerin eşit kar elde ettiği, farklılıkların araç tiplerinden ortaya çıktığı görülmektedir.

İstanbul toplu ulaşım sistemi için önerilen performansa dayalı hakediş modelinin (Brüt Maliyet Modeli) avantajları, dezavantajları, fırsatları ve tehditleri Tablo-4 de yer alan swot analizinde incelenmiştir.

Tablo 4. Brüt Maliyet Sözleşmesi Swot Analizi

Güçlü Yanlar	Zayıf Yanlar
Operatör pazara girmek için isteklidir	Teşvik olmaması dolayısıyla operatörler açısından ticari kazancı düşük görülür
Otoriteye esnek planlama imkânı tanır	Yüksek seviyede denetim gerektirir
İdare üzerinde siyasi baskı azalır, taraflar arası uyumsuzluk olasılığı düşer	Ulaşım Otoritesi detaylı bilgiye ihtiyacı duyar
Yolcu memnuniyeti artar	Hizmet kalitesinde düşüş görülebilir
Operatör için finansal sürdürülebilirlik sağlanır	Maliyet riski operatörün üzerindedir
Operatör performans odaklı çalışır	

Fırsatlar	Tehditler
Operatörün sefer gerçekleştirme ve zamanındalık oranında artış sağlanır	
Yolda rekabet dolayısıyla oluşabilecek memnuniyetsizlikler ortadan kalkar	Sabit gelir nedeniyle operatör memnuniyetinde düşüş yaşanabilir
İşbirliği teşvik edilir	Operatörün kazancı yolculuk gelirin e dayanmaması nedeniyle, yolda yolcu bırakma eğilimi, kaçak yolculuklar artabilir

## 4.Örnek Çalışma

İstanbul'da yeni uygulanmaya başlayan hakediş sistemi neticesinde bazı araçların yeni hakediş sistemden önce aldığı ve sistemden sonra alacakları hakediş Tablo-5 de gösterilmiştir.

X1 aracı için;  
 $(30540*1+8355(0,925*2,78+0,4))*1,0375+15.270=72.714$  TL

Aşağıdaki tabloda yakıt ve bakım birim bedeli sırasıyla 2,8 TL ve 0,4 TL olarak kabul edilmiştir.

Tablo 5. Örnek Hesaplama

Araç	Aylık Km	HEK	SGO	Yeni Sistem Hakediş	Mevcut Hakediş
X1	8355	0,925	1	72.714	73.873
X2	8355	0,925	1	72.714	68.544
Y1	6811	1,011	1	69.640	73.206
Y2	7022	1	1	70.130	65.823

X1 ve X2 araçları aynı hatta çalışmış olup, yaptığı işin tamamen aynı olmasına rağmen yol içindeki yaşanan rekabet, sefer saatlerinin farklı olması vb nedenlerden dolayı farklı hakediş almışlardır. Fakat yeni sisteme geçilmesiyle beraber, alınacak hakediş sadece yapılan iş esasına göre ödeneceği için işletmecilerin gelir riski tamamen ortadan kalkmıştır.

## 5. Değerlendirme ve Sonuç

Şirketlerle yapılan görüşmeler ve ortak akıl toplantıları neticesinde İstanbul'da uygulanan hakediş sistemine 3041 özel taşımacınının tamamıyla sisteme geçilmiştir.

Yukarıda bahsedildiği üzere dar bölgelerin (Hat araç eşleşmelerinin ve çalışma sıralamasının belirlendiği hat-arac küme) karlılıkları arasında büyük farklılıklar hem işletmeciler açısından, hem idare açısından hemde yolcular açısından memnuniyetsizlik sebeplerinin kök nedenini oluşturmaktaydı. Yeni modelle birlikte bu problem çözülmüş ve paydaş beklentilerini karşılamak için sisteme değişim ve yenileşim fırsatı sunulmuştur.



Hakediş modeline geçilmesi ile işletmeciler için gelir garantisi sağlanacak, yolda rekabetin önüne geçilip yol için rekabet ortamı oluşturularak hizmet kalitesi artacak ve hatlar arasındaki gelir-gider adaletsizliğini ortadan kaldıracaktır. Ayrıca iç müşteriler olan çalışanların memnuniyeti de artıracaktır.

Hakediş modeli, esnek hat planlamasına imkanı sağlaması, sefer kayıplarını azaltması, haksız rekabeti önlemesi, modlar arası entegrasyon ve hat optimizasyonu sorunlarına da çözüm üretmesi ile birlikte operatörlerin kurumsallaşması için önemli bir adım olacaktır.

Ulaşım hizmetlerinin bireylerin performansına veya hizmet anlayışına bağlı olmadan sürdürülmesi ve geliştirilmesi için kurumsallaşma büyük önem taşımaktadır. Kurumsallaşma için de hakediş modelinde ve hizmet standartlarında reform sağlanması gerekmektedir. Mevcut Net Maliyet Kontrat Modeli ile kurumsallaşma adımlarının gerçekleşmesi mümkün değildir.

Kurumsallaşma planlamaya esneklik kazandırmakta, sistemi politik etkenlere karşı korumakta ve ölçek ekonomisinden faydalanarak düşük maliyetler ile yüksek hizmet kalitesini sağlamayı hedeflemektedir. İşletmecilerin ölçek ekonomisinden yararlanabilmeleri için maliyet havuzu, filo havuzu ve personel havuzu gibi sistemler kurarak kurumsallaşma adına ilk adımlarını atmaları sağlanabilir. Dünyadaki gelişmiş toplu ulaşım sistemlerinde kurumsal operatörler veya global toplu ulaşım operatörleri ile bu hizmet sağlanmaktadır.

Bununla beraber önerilen sistemde kilometre başına gelir garantisi verildiğinden kaçak yolcu, usulsüz kart kullanımı gibi halen sıkı kontrol edilen konuların kontrol dışı kalabileceği düşünülmektedir. Eski sübvansiyonlarında etkisiyle yüksek kar marjına sahip hatlarda çalışan operatörlerin gelirlerinin düşebilecek olması veya çalışma şartlarının değişecek olması sisteme geçişi ilk etapta zorlasa da, toplu ulaşımında yaşanan siyasi ve dış faktörler (COVID-19 vb.) gibi belirsizlikler hat karlılıkları ne olursa olsun tüm taşımacıları daha istikrarlı olan yeni modele geçmeye itmiştir.

## 6. Teşekkür

Çalışmamıza verdiği destekten dolayı İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

## EK-1 Zayi Tasnif Tablosu

Zayi tasnif tablosu Tablo-6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Sefer Zayi Tasnif Tablosu

Zayi Türleri	İETT Kaynaklı (En)	İşleten Kaynaklı (Fn)
AR" >Arıza		+
DL" >Dilekçeli		+
FS" >Fazla Sefer (gidilen yerde zayi olmayacak)	+	
GA" >Gözetim Altı-1		+
GA" >Gözetim Altı-2	+	
GG" >Garajdan Geç Gelme		+
HD" >Hat Değişirme	+	
KZ" >Kaza-1		+
KZ" >Kaza-2	+	
OY" >Otobüs Yokluğu		+
PY" >Personel Yokluğu		+
YG" >Yolda Gecikme	+	
YS" >Yolcu Sağlık vb Sorunlar	+	
HM" >Hava Muhalefeti	+	
TO" >Toplumsal Olaylar	+	
TO" >Toplumsal Olaylar		+
CA" >Cihaz Arızası-1		+
CA" >Cihaz Arızası-2	+	
SD" >Personel Sağlık Durumu (Yolda, belgeli)	+	
KG" >Kapalı Güzergâh	+	
CI" >Servisten Men veya Ceza Kaynaklı İptal		+
KM" >Araç Muayene (İETT / Karayolları)		+
ST" >Saldırı & Taciz-1		+
ST" >Saldırı & Taciz-2 (şoför)	+	
RK" >Rötardan Kurtarma	+	
TK" >Temizlik & Güvenlik & Kontrol İhtiyacı	+	
NM" >Normale Döndü-Zayi Karar İptali (Durum: İptal silinmelidir)	+	
AY" >Akaryakıt Bitti		+
AZ" >Şoförün Yanlış Algılaması		+
IG" >İdari Görev	+	
YH" >Yolcu Hasarı	+	

## EK-2 Sabit ve Değişken Ödeme Kalemleri

Sabit ve Değişken Ödemeler Tablo-7'da gösterilmiştir.

Tablo 7. Ödeme Tablosu

GİDER KALEMLERİ		12 M dize l	ÇİFT KATLI	9,1-11 M	8,1-9 M	6,5-8 M
<b>SABİT GİDER KALEMLERİ</b>	Zorunlu Trafik Sigortası	542 TL	1.084 TL	542 TL	542 TL	542 TL
	Kasko	1.000 TL	1.246 TL	808 TL	600 TL	450 TL
	Ferdi Kaza Sigortası	60 TL	60 TL	60 TL	60 TL	60 TL
	MTV ( Motorlu Taşıtlar Vergisi ) orta.	291 TL	310 TL	291 TL	291 TL	291 TL
	TÜV-TÜRK Muayene	45 TL	45 TL	45 TL	45 TL	45 TL
	Amortisman	7.500 TL	9.346 TL	6.060 TL	4.500 TL	3.375 TL
	Personel (ideal 2,5 sürücü)	10.000 TL	10.000 TL	10.000 TL	10.000 TL	10.000 TL
	SGK, vergi ve diğer ödemeler (ideal 2,5 kişi)	6.250 TL	6.250 TL	6.250 TL	6.250 TL	6.250 TL
	Kıdem Tazminatı (2,5 personel)	1.149 TL	1.149 TL	1.149 TL	1.149 TL	1.149 TL
	Muhasebe	500 TL	500 TL	500 TL	500 TL	500 TL
	Şirket Payı	490 TL	490 TL	490 TL	490 TL	490 TL
	Personel Elbisesi	150 TL	150 TL	150 TL	150 TL	150 TL
	Belediye Ruhsat Harcı Ortalama	63 TL	63 TL	63 TL	63 TL	63 TL
	Sabit Bakım	2.100 TL	2.368 TL	1.776 TL	1.600 TL	1.500 TL
Ad Blue	400 TL	400 TL	400 TL	400 TL	400 TL	
<b>SABİT TOPLAM</b>		<b>30.540 TL</b>	<b>33.460 TL</b>	<b>28.584 TL</b>	<b>26.640 TL</b>	<b>25.265 TL</b>
<b>DEĞİŞKEN GİDER KALEMLERİ</b>	Yakıt (TL/Km)	2,78 TL	3,24 TL	2,16 TL	1,98 TL	1,73 TL
	Bakım (TL/Km)	0,40 TL	0,45 TL	0,35 TL	0,30 TL	0,29 TL
<b>DEĞİŞKEN TOPLAM</b>		<b>3,18 TL</b>	<b>3,69 TL</b>	<b>2,51 TL</b>	<b>2,28 TL</b>	<b>2,02 TL</b>
<b>MALİYET TOPLAMI (6600 Km yapan araç)</b>		<b>51.520 TL</b>	<b>57.830 TL</b>	<b>45.158 TL</b>	<b>41.662 TL</b>	<b>38.591 TL</b>

Vergi	2.061 TL	2.313 TL	1.806 TL	1.666 TL	1.544 TL
%100 Performans Ödemesi	15.270 TL	16.730 TL	14.292 TL	13.320 TL	12.633 TL

Maliyet tablosunun güncellenmesi 3 farklı TÜİK endeksine göre yapılmıştır.

- Amortisman kaleminin güncellenmesinde; TÜİK tarafından aylık yayımlanan 2003=100 Temel Yıllı Üretici Fiyatları Sektörlere Göre Fiyat Endeksi ve Değişim Oranı Tablosunda 28 numaralı “Makine ve Teçhizat b.y.s.” ürün sınıfı baz ayın içinde bulunduğu geçerli ay için verilen endeksi,
- Personel, SGK ve kıdem tazminatı kalemlerinin güncellenmesinde; TÜİK tarafından 3 aylık yayımlanan 2003=100 Temel Yıllı İşgücü Girdi Endeksleri ve Değişim Oranları tablosunda “Ticaret ve Hizmetler Alt Sektörü” baz dönemde içinde bulunduğu geçerli dönem için verilen endeksi,
- Yakıt hariç diğer kalemlerin güncellenmesinde ise; TÜİK tarafından aylık yayımlanan 2003=100 Temel Yıllı Tüketici Fiyat Endeksi ve Değişim Oranları (2003=100) Tablosunda baz ayın içinde bulunduğu geçerli ay için verilen endeksi kullanılmıştır.
- Akaryakıt birim fiyatı hesaplanırken 1 Ocak 2020 tarihli EPDK fiyatı baz alınmıştır. Akaryakıt birim ücreti ile ilgili fiyat değişiklikleri EPDK fiyat verileri üzerinden her ay güncellenir.

## Kaynakça

- Amaral, M., Saussier, S., & Yvrande-Billon, A. (2013). Expected number of bidders and winning bids: Evidence from the london bus tendering model. *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 47(1), 17-34.
- Camen, C. (2011). Organising Authorities Committee Public Transport Performance and Quality: Enhancing Bus Services Case Studies.
- Cantillon, E., & Pesendorfer, M. (2006). Auctioning bus routes: The London experience. *International Association of Public Transport (UITP). (2010). Organisation and Business Models.*
- International Association of Public Transport (UITP). (2016a). Contractual Arrangements Between Authorities and Operators.
- International Association of Public Transport (UITP). (2016b). Public Transport Organisation & Regulation Contractual Arrangements.
- International Association of Public Transport (UITP). (2016c). Relationships Between Public Transport Actors and Business Models.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi Meclis Kararları (İBB). 17.09.2020 tarih ve 906 sayılı karar.

- Leong, W., Goh, K., Hess, S., & Murphy, P. (2016). Improving bus service reliability: The Singapore experience. *Research in Transportation Economics*, 59, 40-49.
- Yıldızgöz, K. (2010). *Toplu Taşımacılığın Organizasyonu İdareler ve İşletmeciler Arasındaki İlişkilerin Yönetimi*.
- Saussier, S., Tirole J. (2015) Strengthening the Efficiency of Public Procurement (2-3)
- Walters, J., Jansson, J., Owen (2008) Risk and reward in public Transportation contract
- Leong, W., Goh, K., Hess, S., Murphy, P. (2016) Improving Bus Service Reliability: The Singapore Experience (42-43)
- İmre, Ş. Çelebi D., (2017) Measuring Comfort In Public Transport : A case study for İstanbul



# Otonom Araçlar İçin Siber Güvenlik Risklerinin Araştırılması ve Savunma Metotları

Cevat Özarpa<sup>1\*</sup>, İsa Avcı<sup>2</sup>, Seyit Ali Kara<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 78050, Merkez, Karabük (ORCID: 0000-0002-1195-2344), [cevatozarpa@karabuk.edu.tr](mailto:cevatozarpa@karabuk.edu.tr)

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 78050, Merkez, Karabük (ORCID: 0000-0001-7032-8018), [isaavci@karabuk.edu.tr](mailto:isaavci@karabuk.edu.tr)

<sup>3</sup>Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 78050, Merkez, Karabük (ORCID: 0000-0003-1275-1242), [2028129013@ogrenci.karabuk.edu.tr](mailto:2028129013@ogrenci.karabuk.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 8 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 21 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.911468)

**ATIF/REFERENCE:** Özarpa, C., Avcı, İ., Kara, S.A. (2021). Otonom Araçlar İçin Siber Güvenlik Risklerinin Araştırılması ve Savunma Metotları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 242-255.

## Öz

Dünyada dijital teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte, akıllı şehirler ve akıllı şebekelerde olduğu gibi akıllı ulaşım araçlarında da gelişmeler yaşanmıştır. Akıllı sistemlerin akıllı araçlara entegrasyonun ardından otonom araçların yaygınlaşmasıyla siber güvenliğin önemi daha da artmıştır. Konforlu, güvenilir ve zamandan tasarruf edilebilecek yolculuk ve taşımacılık için otonom araçların güvenlik zafiyetleri araştırılmıştır. Yapılan siber saldırıların 3 çeşit amacı vardır: sistemi kontrol eden yöneticiyi devre dışı bırakarak sistemin kontrolünü ele geçirmek, sistem çalışmasında gecikmelere neden olacak yoğunlukta çalışmasını sağlamak ve sistemin tamamen çökmesine neden olmak. Bu çalışmada kontrolün kullanıcıdan saldırganına nasıl geçebileceğini göstermek amacıyla 10 çeşit saldırı incelenmiştir. Bu saldırılar, GPS yanıltma, ara bellek taşması, istismar açıklık saldırıları, araya girme saldırısı, kötücül yazılım saldırısı, hizmet kesintisi saldırısı, vekil sunucu saldırısı, sibil saldırısı, OBD Saldırısı ve ARP yanıltma saldırısıdır. Saldırıların yapılacağı mimaride temel otonom sistemler için gereksinim olan konum sensörleri, araç alt sistem denetleyicileri, kablosuz bağlantı araçları ve görüş sensörleri üzerinden yapılan saldırılar incelenmiştir. Ayrıca otonom araçların sistem mimarisi, siber saldırı yöntemleri, siber saldırı önlemleri ve son 5 yılda yapılmış akademik çalışmalar incelenerek analiz edilmiştir. Otonom araçlarda saldırıların sensör bilgilerinin toplandığı, araçların yönetildiği işlemciye yapıldığı tespit edilmektedir. Kablosuz bağlantıların otonom araç yönetiminde kullanıcıların isteği üzerine kullanılması beraberinde çokça açıklığı da getirmiştir. İşlemciye kullanılabilir açıklıkları azaltmak için, işlemcinin yapması gereken görevlerin azaltılarak, yapılması gereken çalışmanın diğer sensörler tarafından yapılması istenmektedir. Sistemin sahip olduğu tek işlemciye doğrudan erişimi kapatarak sistem açıklıklarının azaltılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Akademisyenler ve otonom araç üreticileri araç mimarisini yöneten yazılım ve korunma yöntemleri üzerinde geliştirme çalışmalarına devam ettikleri görülmektedir. Bu çalışmada, kullanıcıların güvenlik işlemlerini kolaylaştıracak çalışmalar, bazı araçlar ve tedbirler incelenmiştir. Uzmanlar tarafından kullanılarak sistem IP'si hakkında bilgi sahibi olunabilecek, yetkisiz veya yabancı sistemleri tespit edebilecek olan NMAP, Maltego ve Metasploit araçları da incelenmiştir. Yaptığımız çalışmalar tamamıyla etik kurallar çerçevesinde yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Otonom araçlar, Siber saldırılar, Siber risk analizi, Siber tehditler.

## Survey of Cyber Security Risks and Defense Methods for Autonomous Vehicles

### Abstract

With the rapid development of digital technology in the world, there have been developments in smart vehicles as well as in smart cities and smart grids. After the integration of smart systems with smart vehicles, the importance of cyber security is increasing with the spread of autonomous vehicles. In this study, security vulnerabilities of autonomous vehicles were investigated, especially for comfortable, reliable, and time-saving travel and transportation. The cyberattacks carried out in the research have 3 purposes. These are to take control of the system by disabling the administrator who controls the system, to make the system work intensively, to cause delays in the system operation, and cause the system to crash completely. In this study, 10 attack types are analyzed to show how control can pass from the user to the attacker. These are GPS spoofing, buffer overflow, exploit vulnerability attacks, Man-in-the-Middle attack, malware attack, DDoS attack, Proxy/Socks attack, Sybil attack, OBD attack, and ARP spoofing attack. The attacks made through position sensors, vehicle subsystem controllers, wireless connection devices, and image sensors, which are required for basic autonomous systems in the attack architecture, are examined. In addition, the system architecture of autonomous vehicles, cyberattack methods, cyber attack measures, and academic studies in the last 5 years have been examined and analyzed. It has been shown that attacks are made on the processor in which the sensor information is collected, and the vehicles are managed in autonomous vehicles. The use of wireless connections at the request of users in autonomous vehicle management has brought a lot of clarity. To reduce the

\* Sorumlu Yazar: [cevatozarpa@karabuk.edu.tr](mailto:cevatozarpa@karabuk.edu.tr)



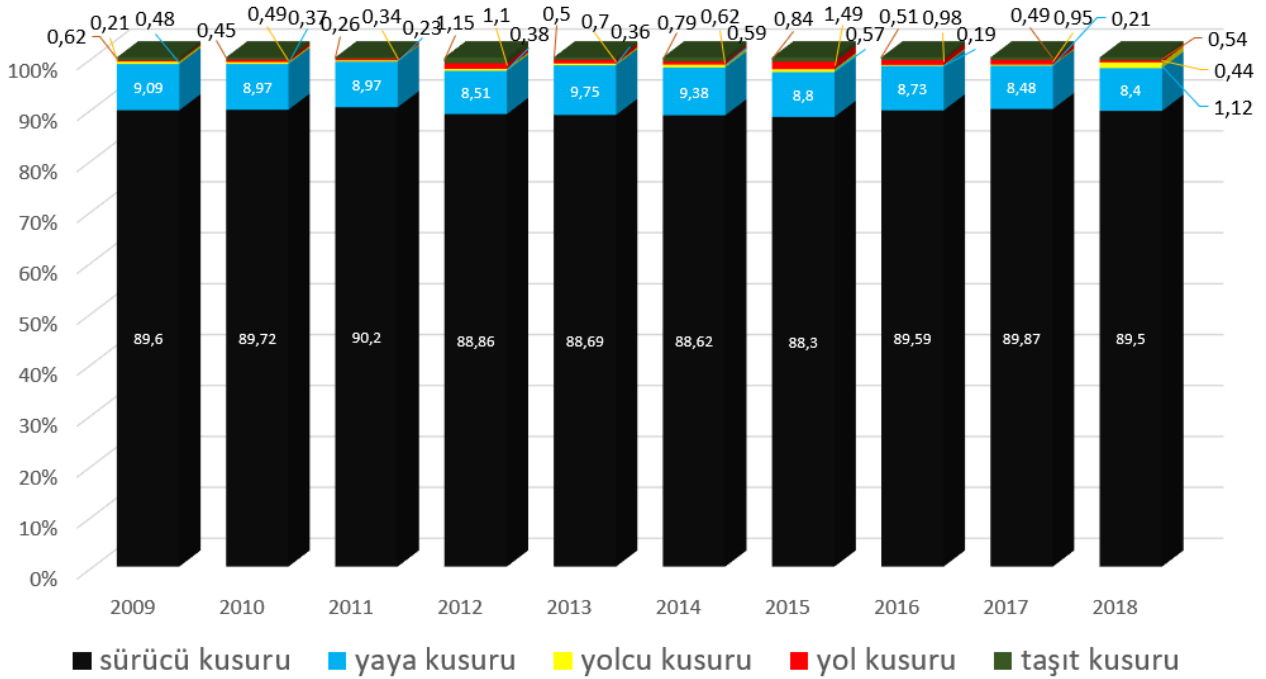
available openings in the processor, the tasks that need to be done by the processor are reduced and the work is required to be done by other sensors. It is tried to reduce system vulnerabilities by closing direct access to a single processor owned by the system. It has been observed that academics and autonomous vehicle manufacturers continue to work on the software and protection methods that manage the vehicle architecture. Studies, some tools, and measures that will facilitate the security processes of users have been examined. NMAP, Maltego, and Metasploit tools that can be used by experts to gain knowledge of system IP and detect unauthorized or foreign systems were also examined. Our work has been carried out completely within the framework of ethical rules.

**Keywords:** Autonomous vehicles, Cyber-attacks, Cyber risk analysis, Cyber treatment.

## 1. Giriş

Otomobil sektöründeki gelişmeler son dönemlerde otonom araçların kullanılmasını gündeme getirmiştir. Peki bu araçların kullanımı tamamıyla makinelerin eline verilirse siber saldırılara maruz kalmadan, dışarıdan müdahaleler ile araç kontrolünü kaybetmeden ne kadar güvenli yolculuk yapabiliriz? Bu araçların tarihi otomobillerin ilk zamanlarına dayanıyor. Aracın kumandayla kontrol edilmesi ve ilk otonom araç örneği 1925 yılında görülmüştür (Feng, 2019; Green, 1925). Teknolojinin hızla gelişmesi ve insan hayatına konfor olarak geri dönmesi otomobil teknolojilerinden de aynısının beklenmesine sebep olmuştur. Tarihte tekerleklerin buluşuyla tekerlekler üzerinde seyahat ve taşımacılık başlamıştır. 19. yüzyılda buharın ve 20. yüzyılda petrolün enerji olarak kullanılmasıyla devam etmektedir.

İlk araç örneklerinden kabul edilen Nicolas Joseph Cugnot tarafından 1769 yılında yapılmış olan buharlı araç, Paris'te Arts et Metiers Müzesi'nde sergilenmektedir. Yapılan araç dönemi içerisinde ilgi çekememesinden dolayı ordu deposuna kaldırılmıştır (Bellu, 1998; Vers et al., 2019). 1791 yılında Ivan Kulibin tasarladığı araç volan, fren, vites kutusu ve rulman yataklıkları gibi özelliklere sahiptir. Ancak o dönem hükümet bu araçta bir gelecek görememiştir ve çalışmalara son verilmiştir. Oliver Evans, Richard Trevithick, Josef Bozek ve Walter Hancock buharla çalışan araç örnekleri yapmışlardır (Devichnick, 2017; Gridin, 2017). 1860' larda içten yanmalı motorlar tasarlanmıştır. Bu tasarımda motorlar gazyağı ile çalışmaktadır. 1884 yılında Karl Benz tarafından karbüratörlü 4 zamanlı motor yapılmıştır. 1889 yılında Rene Pabhard ve Emile Levassor 4 zamanlı Benz motorunu 4 kişilik bir araca bağlamışlardır (Eckermann, 2001; Milev et al., 2019).



Şekil 1. Trafik Kazaları Nedenleri İstatistik Tablosu (TÜİK, 2018)

Birçok buluş bu aracın üzerine eklenerek daha konforlu, daha hızlı ve daha güzel dış tasarıma sahip olan araçlar yapılmıştır. Fren sistemleri, direksiyon sistemleri, motor için su ile soğutma sistemleri, buji ile ateşleme sistemleri, subap sistemleri, toza ve yağmura karşı araç içerisindekileri korunması için düşünülmüş tasarımlar gibi (Coulibaly, 2007; Taymans et al., 2020).

Otomobillerde gelişim, yarışlarla daha da hızlı bir hal almıştır. 1894 yılında gerçekleştirilen Paris-Rouen bilinen ilk otomobil yarışıdır. Yarışlarda ilk öncelik hız ve araç hakimiyeti olduğundan süspansiyon, direksiyon, aerodinamik, tekerlekler, frenleme sistemleri ve motor performansı için yapılan gelişmeler hız kazanmıştır. Bilinen ve kabul edilebilecek ilk otonom otomobil Francis Houdina tarafından uzaktan kumanda ile kontrol

edilmektedir (Esteban, 2019; Puiboube, 2000). 1956 yılında General Motors firması Firebird model araca telsiz sinyalleri ile otoyolda otomatik hareket etmesini sağlamışlardır (Kendi, 2017). Teknolojik yetersizlikler ve otomobil sektörünün insan hakimiyetine dayalı sürüş üzerine gelişmesi, otonom araçların 2004 yılına kadar insan kontrollü gitmesine ilerlemesine sebep olmuştur (Miller, 2014).

Otonom araçlarda gelişimler elektronik sensörlerin gelişimine bağlı olarak ilerlemiştir. Görüş sistemlerinin özellikle Lidar Sensörlerinin 1970' lerden 2000' lere kadarki süreçte havadan denizaltı tespiti için kullanımı ve karada haritalama, orman ve su araştırmalarında kullanılmasıyla gelişmiştir ve otonom araçlarda 2000' li yıllarda kullanılmaya başlamıştır.

Otonom araçlarda kullanılan diğer bir sensör olan GPS, 1978 yılında ABD Savunma Bakanlığı tarafından kullanılmıştır (Congress, 2018). 24 adet uydunun atmosferde konumlandırılmasıyla kullanılır. GPS navigasyon, tarım ve madencilik gibi alanlarda kullanılmaktadır (Gps.gov, 2020; Haider & Khalid, 2017).

2004 yılında DARPA Grand Challenge açıklanmıştır. 2010 yılında Google firmasının da bu alanda çalışmasıyla birlikte otomobil üretici firmalar (General Motor, Ford, Volkswagen, Toyota ve Volvo) kendi araçlarını Google ile test etmeye başlamışlardır (Patterson et al., 2017). 2013 yılında seviye 1 ve seviye 2 türünde araçlarla trafikte testler yapılmıştır. 2014 yılında seviye 3 ve seviye 4 türünde araçlar San Francisco ve Seattle arasında test edilmiştir (Tunalı, 2019). Bu çalışmamızda 5. seviye tamamıyla otonom araçlarda var olan ve kullanıma müsait zafiyetler, alınabilecek önlemler ve yapılabilecek çalışmalar incelenmiştir.

Güvenlik zafiyetleri otonom araçlar üzerinde kontrol kayıplarına sebep olabilir, diğer yandan kullanımı zorlaştırabilir veya zarar görmemize sebep olabilir. Siber güvenlik zafiyetlerinden doğan ve akla gelecek ilk siber tehdit otomobilin insan kontrolü dışında belirli bir koordinata doğru hareket etmesidir. Siber saldırılar sonucunda otomobil çalınabilir veya otomobil içerisindekiler alıkonulabilir. Akla gelen ikinci tehdit, sistemin istenildiği gibi çalışmaması ve otomobilin ve/veya içerisindekilerin zarar görmesinin istenmesidir. Örnek olarak, saldırganlar tarafından yapılacak arabelleklerde taşıma saldırıları ile sistem sensörleri çalışmaz hale gelebilir. Bu siber saldırı yöntemi ile trafik ışıklarının doğru algılanmaması, fren sisteminin devre dışı bırakılması ve/veya doğru frenleme yapılamaması gibi sorunlar ile karşılaşılabilir. Ayrıca radyo, koltuk ısıtmaları, klimalar, kalorifer, pencereler, tekerleklerle beraber süspansiyonlar gibi konfor amacıyla kullanılan ve geliştirilen tüm sistemler istem dışı kullanılabilir. Otomobillerin insan hayatında çok sık kullanılması, trafikte yaşanan kazaların %90'a yakınının insan kaynaklı olması Şekil 1' de gösterilmiştir ve teknolojik gelişmeler, otonom otomobillerin kullanımını desteklemektedir.

## 2. Otonom Araçlar

19. Yüzyılda hayatımıza giren otomobiller her açıdan farklı bir yere gelmiştir. İnsanların daha konforlu ve donanımlı araç isteğine çözüm olması amacıyla otonom araçların üretimi ve kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu araçlar günümüzde SAE J3016 standartlarına göre 6 kategoride incelenmektedir ve seviye 5 isimli 6. kategori tam otonom otomobil kategorisidir (European Union Agency for Network and Information Security (ENISA), 2017). Trafikte harcanacak zamandan tasarruf etmiş

olunmaktadır. Artık düşünmemiz gereken konu şahsi güvenlik konusudur.

Bu nedenle tam otonom araçların internet ihtiyacı ve sistemin dışarıyla olan etkileşimi zafiyetleri ortaya çıkarmaktadır. Otonom araçlar sistem olarak temelde görüş sensörleri, konum sensörleri, kablosuz haberleşme sensörleri, araca ait parçaların denetim sensörlerine sahiptirler. Otonom olmayan araçlarla pek çok ortak yönü de vardır ve bunlar mekanik sistemleri; süspansiyon, direksiyon, tekerlekler, fren sistemleri ve araç iç donanımdır. Gelecekte bu parçalarda değişimler, hafiflemeler, kullanım kolaylığı sağlayacak eklemeler olsa da şu an için kullanılacak bir otonom araç hemen hemen bu özelliktedir (Molla & Elektronik, 2018).

### 2.1. Otonom Araçlarının Faydaları ve Kullanım Alanları

İstatistiksel çalışmaların bizlere verdiği sonuçlara göre % 90'lık bir dilim insan hatalarından dolayı trafikte kaza olduğunu gösteriyor (TÜİK, 2018). Bu hataları azaltmak için sürücü kullanımı ve trafikte kural ihlalleri en aza indirmek istenmiştir.

Otonom araçlar insan hatalarına bağlı kazaların yaşanmaması istenen yerlerde, geniş arazilerde, çiftçilikte, sağlık sorunları sebebiyle standart araç kullanımında zorlanmalarda kullanımı düşünülen araçlardır (Pancorbo Crespo et al., 2019).

### 2.2. Otonom Araç Seviyeleri

Araçların her geçen gün elektrikli araçlara dönüştürülmesi isteği de otonom araçlarda tasarım değişikliklerine sebep olacaktır. Bu değişiklikler elektronik ve dijital parçaların küçük modellerinin, dayanıklı ve olabildiğince küçültülmüş mekanik parçaların bir araya gelmesi demektir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarla şu an için 6 ayrı seviye mevcuttur. Bunlar Seviye 0, Seviye 1, Seviye 2, Seviye 3, Seviye 4, Seviye 5 olarak isimlendirilirler (ENISA, 2017; Feng, 2019; Ustam, 2020).

#### 2.2.1. Seviye 0: Otonom Olmayan Araçlar

Araç üzerinde, etrafında, içerisindeki sensör veya kameraların kullanım kontrolünde herhangi bir etkisi yoktur. Kullanım kontrolü yalnızca sürücünün elindedir.

#### 2.2.2. Seviye 1: Sürüş Yardımlı Araçlar

Araçlar bazı sürüş yardım desteğiyle ilerleyebilir fakat bunlara rağmen kontrol yine de sürücüdür. Adaptif hız sabitleyiciler, far açısı sensörü, frenlemeye bağlı tekerleklerin hareketinin kesilmesi gibi etkiler söz konusudur.

Tablo 1. Otonom Araçların Sınıflandırması (Bezai et al., 2020; ENISA, 2017; Pancorbo Crespo et al., 2019)

Kategori	Otonomluk Seviyesi	İnsan Müdahalesi	Hakimiyet Kontrolü
Geleneksel	0 Manuel Kontrol Araçlar	Evet	Manuel Kullanılan araçlar
Akıllı	1 sürüş yardımcı araçlar	Evet/Hayır	Makine destekli insan kullanımlı araçlar
Akıllı	2 kısmi otonom araçlar	Evet/Hayır	Kararları insanlar verir kullanım araçtır
Otonom	3 koşullu otonom araçlar	Evet/Hayır	Son kararı insanların verdiği araçlar
Otonom	4 yüksek otonom araçlar	Evet/Hayır	Acil durumlar dışında insanlar karar verir
Otonom	5 tam otonom araçlar	Hayır	İnsanların sadece acil durumları bildirirler

#### 2.2.3. Seviye 2: Kısmi Otonom Araçlar

Araç, sürücü kontrolüyle çalışmaktadır ve ilerler ancak sürüş e-ISSN: 2148-2683

sistemi sisteme devredilebilir. Her an sürücü müdahale edecekmiş gibi tasarlanırlar. Bu seviyedeki araç modeli, şeritlerin belirgin

olduğu, düz ve kavisin az olduğu yollarda kontrolün araç beynine bırakılabileceği araç modelleridir. Bu model araçlarda yine de sürücünden direksiyondan tutması istenilmektedir.

### 2.2.4. Seviye 3: Koşullu Otonom Araçlar

Seviye 2' deki araç sensörlerine ve daha fazla sensöre sahiptirler. Bu araçlarda kontrol tamamıyla araca bırakılmaktadır. Sürücünün yola, etrafındaki araçlara, trafik uyarı levhalarına, ışıklara, yayalara dikkat etmesi gereken durumlarda sürücü önceden uyarılır.

### 2.2.5. Seviye 4: Yüksek Otonom Araçlar

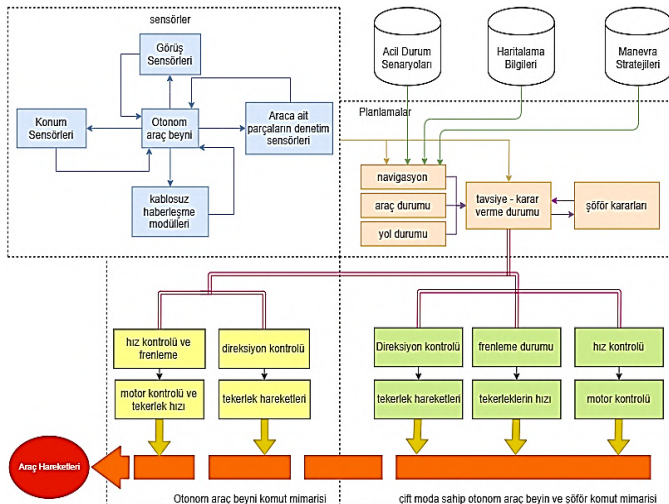
Araçların istenen noktaya gidebilmesi sürücü kontrolsüz mümkündür ve bu sürüş esnasında sürücünden kontrol beklenmez. Araç kendi kendini park edebilmektedir. Bu araçlarda yolcuları gidecekleri yerlere güvenle gidebilmeleri için sistem sensörleri tarafından kontrol edildiğinden beyin sensörlerden gelen veriler doğrultusunda en güvenli şekilde seyahat için tasarlanmışlardır. Bu araçlar aynı zamanda sıkışık trafik durumunda da kendine alternatif yollarla da rota çizerek yolcuları güvenle gidecekleri yerlere götürebilmektedir.

### 2.2.6. Seviye 5: Tam Otonom Araçlar

Seviye 5 olması gereken tüm sensörlerle tam donanımlı araçların seviyesidir. İnsan müdahalesi olmaksızın istenen noktaya yolcuları bırakabilmektedir. Öngörülere göre 2030 yılında 5. Seviye araçların trafikte olması düşünülmektedir (Molla & Elektronik, 2018).

## 2.3. Otonom Araç Mimarisi

Araç donanımında en az mekanik parçalar kadar elektronik parçalar bulunmaktadır. Bunlar; radar, şerit takip sistemi, lidar sensörü, kızılötesi kamera, GPS, atalet ölçüm cihazı, tekerlek kodlayıcı, odometri, bilgisayar görüş sistemi, frenleme, hız kontrol ünitesi ve direksiyon olarak söylenebilir (José E. Naranjo, 2009). Araçların otonomluk seviyelerine göre kullanılan sensörlerde de değişmektedir. Genel olarak kullanıma bakılacak olursa araçların mimarisi birbirlerine çok yakındır. (İspir, 2019; Naranjo et al., 2009).



Şekil 2. Otonom Araç Mimarisi Örneği (Bezai et al., 2020; El-Rewini et al., 2020)

## 3. Otonom Araçlarda Siber Saldırı Yöntemleri ve Riskleri

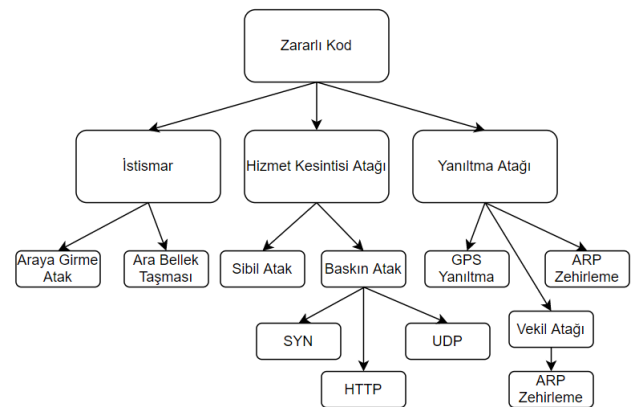
Siber saldırılar sistemi durdurmaya, kapatmaya veya tekrar çalıştırmamaya yöneliktir. Siber saldırı yapılmadan önce sistem ve sistem kullanıcıları hakkında bilgiler toplanır. Yapılacak saldırıda saldırılan sistemin şifreli veya şifresiz bir arayüzü olabilir. Kullanıcı arayüzünde şifre olmadığında yerel ağ ile kolayca erişim sağlayabilmektedir (Morimoto et al., 2018; Ünver, n.d.; Ünver vd., 2009).

### 3.1. Otonom Araçlarda Siber Saldırı Yöntemleri

Otonom otomobillerde yapılacak saldırılar sistemin bağlı olduğu kablolu ve kablosuz bağlantılar üzerinden yapılmaktadır. Siber saldırılarda amaç sistemin kullanımını kullanıcıdan ve yöneticiden düşürmektir. Saldırıları genellikle sistemin durdurulması, sonlanması, bir daha hiç çalışmaması gibi sistemi bloke edecek yazılımlar veya sistemi dinlemeye yönelik saldırılardır (Schmittner et al., 2016). Sistemdeki arabelleklere yapılacak saldırılarda ara bellek taşmaları vasıtasıyla kullanıcı girişlerinin bir önemi kalmaz ve sistem saldırganların kontrolüne geçer. Araç navigasyonuna yapılacak saldırılarla kullanıcının rota bilgileri değiştirilerek aracın farklı noktaya gitmesi veya sabit bir noktada kalması sağlanabilmektedir. Yapılacak saldırıların ve sistemin sahip olduğu zafiyetlerin dinlenmesi ise Exploits ile denetlenebilir. Zafiyetlerin kullanımı için saldırılacak sisteme payloadlar gönderilir. Payload zafiyetin saldırgan tarafından kullanılmasını sağlayacak zararlı saldırı kodlarıdır. Bu kodlar sistemin dinlenmesine bilgilerinin izin gerektirmeden başka makinelerle paylaşılmasına neden olmaktadır (Han et al., 2014; Sheehan et al., 2019).

#### 3.1.1. İstismar (Exploit)

İşletim Sistemleri ve bazı programların güvenlik açıklarını keşfederek bu güvenlik açıklarını kötüye kullanma yöntemine istismar (exploit) denilmektedir. Yapılacak saldırılar içerisinde dinleme zafiyetler kullanılarak sistemde değişiklikler yapmamızı sağlayan saldırı araçlarıdır. Doğrudan sisteme sızma amaçlı da güvenlik açıklıklarının bize sağlayacağı risklerin ne boyutta olduğunu göstermesi açısından kullanılır. Sistemler istismar edilerek sistem şifreleri görülebilir, sistemler hakkında bilgiler elde edilebilir.

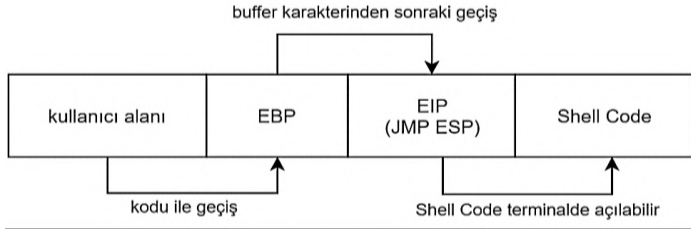


Şekil 3. Siber Saldırı Yöntemleri için Zihin Haritası

İstismar saldırıları sistemin olağan olarak çalışmasına engel olurlar ve sisteme dışardan kod göndererek sistemi normal olarak çalıştırdığına ikna ederler ve genelde yetkisiz erişim için kullanılmaktadır. Kullanım için açık kaynaklı kodlar kullanılır burada amaçlardan ilki art niyetli yazılımların kullanıma erişebilen diğer kullanıcılar tarafından fark edilmesi ve gerekirse müdahale edilebilmesidir, ikinci amaç ise keşfedilmemiş güvenlik açıklıklarının ne olduğudur. (Polat, 2016; Sweshsec, 2020).

### 3.1.2. Bellek Taşması (BufferOverflow)

Sistem içerisinde bellekte aşırı yoğunluktan doğan zafiyet çeşididir. Bellek üzerinde statik ve dinamik değişkenlerin tutulduğu alanlar bulunmaktadır. Bu alanların kapasitelerinin üzerinde veri yüklenmesinden dolayı ortaya çıkmaktadır Saldırıları genelde C dilinde yazılmış buffer değişkeninde boyutların belirlenmesi ve belirlenen değişkenin boyutlarının üzerinde veri alması sonucu taşmalara sebep olacak kodlarla yapılırlar. Shell Code'a erişim mümkün olduğunda üzerinde değişiklikler yapılır (Altınkaynak, 2020). Otonom otomobillerde kullanıcı girişi komut ekranına geçişte kullanılır. Komut ekranında ise gidilmesi istenen yol tarifi mevcuttur. Bu tarife göre otomobilden kendisi gitmesi istenmektedir. Burada Bufferoverflow saldırısı ile bizler komut ekranında girilmiş olan bilgileri değiştirebilmekteyiz.



Şekil 4. JMP ESP Konumu

### 3.1.3. GPS Yanıltma (GPS Spoofing)

Sistemde bulunan radyo dalga sinyallerini kopyalayarak sahtelerinin üreten ve bu sinyalleri sisteme gönderen saldırı çeşididir. Sistemin gelen sinyallerin doğruluğuna bakmaksızın kabul etmesi zafiyetine dayanmaktadır. Yapılan saldırılarda kullanılan GPS dalga boyuna göre saldırıların kullanımı da şekillenmektedir. Bu saldırılar maliyeti yüksek ve donanım gerektiren bir saldırı türüdür (Jadoon et al., 2018; Parkinson et al., 2017). Saldırgan tarafından taklit edilecek esas sinyallerin taklit edilen sinyallere oranı 2 µs arttırılırsa veya 10 dB daha güçlü olduğunda saldırı yapacağı saldırıların başarılı olacağı görülmüştür. Bu saldırıda saldırı kullanıcı gideceği adres bilgisini değiştirilebilir. GPS yanıltma, 2 teknik ile saldırı yapılması mümkün olmaktadır. Bunlar, saldırının gizlemesi (covert capture) ve gizlememesi (overt capture) olarak verilmektedir (Çuhadar, 2017). Covert Capture'da saldırı tespiti zordur ve Overt Capture saldırılarına göre pahalıdır. Overt Capture'da saldırı tespit kaygısı yaşamadığından önce sistem sinyallerini bozmaktadır, ardından sisteme kendi sinyallerini yollamaktadır.

### 3.1.4. Hizmet Kesintisi Saldırısı (DDos-DoS Attack)

Hizmet kesintisi olan bu saldırı türü saldırı yapılacak sisteme cevap veremeyeceği kadar istek gönderilmesi sonucunda oluşmaktadır. Sistemin çok fazla istek alması artık kullanım dışı kalmasına sebep olacaktır. Sistemin çalışmaz hale getirilebilmesi için genellikle bant genişlikleri kullanılarak taşırma işlemi

yapılmaktadır. Bu tarz saldırılar için yasa dışı kullanımı olan sunucular mevcuttur. Dağınık saldırı tekniğine sahiptir, IP adresleri farklı subnetlerde yer alabilir. Bu sayede tespiti ve önlenmesi çok zordur. Önemli hususlardan birisi de paketler ve boyutlarıdır. Bunun için 100 ile 1000 MB bağlantı için Tablo 1'e bakacak olursak ortalama TCP 60 byte, UDP 40 byte, http 400 byte olarak paket boyutlarını kabul edebiliriz (Jadoon et al., 2018; Parkinson et al., 2017).

#### 3.1.4.1. SYN Taşması (SYN Flood)

SYN bağlantısı kurulacak olan cihaz veya internet bağlantısı için bağlantı kurma talep paketidir ve istek paketi olarak gönderilir. Gönderilen paketlere karşılık olarak SYN-ACK paketi alınır ve bu alınan ACK paketi ile sisteme bağlantı kurulmuş olunur. Eğer eş zamanlı pek çok SYN paketi farklı noktadan erişim için gönderilirse bu SYN Flood olmaktadır. Sistem çok fazla SYN paketi olmasından dolayı cevap veremez duruma gelir.

Tablo 2. 100-1000 MB Bağlantı Paketleri İncelemesi

Saldırı Tipi	100 MB (pps, packet per second)	1000 MB (pps)
SYN Flood	200.000 pps	2.000.000 pps
UDP Flood	400.000 pps	4.000.000 pps
HTTP Flood	32.000 pps	320.000 pps

#### 3.1.4.2. HTTP Taşması (HTTP Flood)

HTTP portu web yayınları için 80. portu, güvenli web yayını için 443. portu kullanılmaktadır. Bu durumdan dolayı bu portlar daima açıktır. HTTP Flood saldırıları da http protokolü aracılığıyla yapılmaktadır. Web servisinin kaç kişiye kadar hizmet verebileceğinin ölçütü olarak kullanılır. Sayfa yenileme gibi kullanımlarda http portuna giriş talep edildiğinden bu tarz saldırıları tespit etmek güçleşmektedir.

#### 3.1.4.3. UDP Taşması (UDP Flood)

UDP sahip olduğu protokol itibarıyla TCP'den farklı olarak 3'lü el sıkışma (3-way handshake) yapmamaktadır. Öncelik verilen konu güvenlik değil hızdır. Paket gönderiminin ardından paketin gönderildiği portun kontrolü yapılır. Portun kullanıcısının olup olmadığını denetlenir eğer var ise paket servise iletilir, eğer yoksa ICMP (hedefe ulaşılamıyor) olarak döner. Bu saldırılar yol bilgisi alınacak olan websiteleri üzerinde kullanılabilir. Bu kullanımlar otomobil beyni olarak kullanılan sistemlerin bilgi alamamasına ve otomobillerin harekete geçmemesine neden olacaktır.

#### 3.1.5. Ortadaki Adam Saldırısı (Man in the Middle)

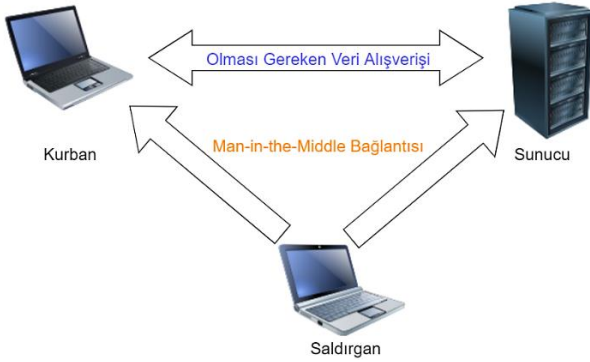
Her sistem mantıksal ve fiziksel operatörlere sahiptir. Bunlar MAC ve IP protokolleridir. Bu protokoller hem güvenlik amacıyla tasarlanmıştır hem de internette gezinmelerde karışıklıkların önüne geçmek hedeflenmektedir. Yapılan aramaların IP karışıklıklarından dolayı arama yapan kişiler arasında çarpık gösterimidir. Problem olarak karşımıza çıkacak ilk sorun bizim mantıksal veya fiziksel protokollerimizin başka bilgisayarlar tarafından kullanılmasıdır. OWASP'a göre Man-in-the-Middle saldırısı çok tehlikelidir (Çıtak, 2020). Bunun temel sebebi HTTP protokollerinin güvenliksiz yapısıdır. Kurban ile sunucu rahatlıkla dinlenebilir ve manipüle edilmeye müsaittir. Oturum bilgileri,



çerezler, e-posta kullanımı gibi bazı kullanıcı girdileri bu saldırı durumunda tehlike altındadır. Sunucunun kurbanı göndereceği her paket saldırganın terminalinden geçmektedir (Altınkaynak, 2020; Muratoğlu, 2020; OWASP, 2015).

### 3.1.6. Vekil Saldırısı (Proxy/Socks)

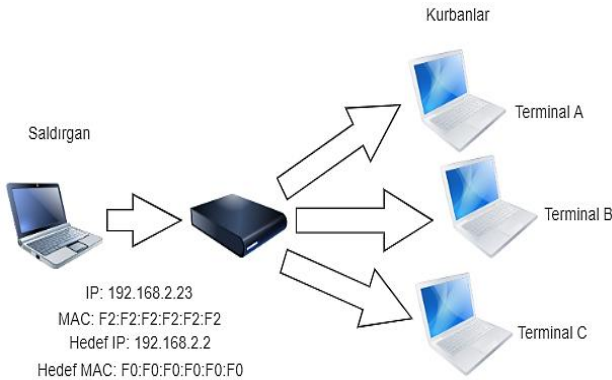
Proxy kullanmak demek IP adresinizi maskeleyektir. Genelde IP adresini paylaşmak istemeyen kullanıcılar tarafından kullanılırlar. İnternette Proxy serverlar mevcuttur ve bunların pek çoğu ücretsiz olarak hizmet vermektedir. En sık kullanılan üç yaygın kullanımı bulunmaktadır. Bunlar; 4, 4a ve 5' tir. Her birinin kendine özgü kullanımı vardır. Kullanımda en yaygın ise 4' tür. Yalnızca IPv4 destekler ve hedef adres olarak 32 bit IP adresi belirtilebilir. 4a ise 4'e yapılmış bir ekleme ile kullanılabilir. Eğer IP adresi çözebilecek bir DNS sunucunuz yoksa faydalıdır. 5 ise IPv6, hostname desteği , UDP yönlendirme ve geliştirilmiş kimlik doğrulama desteğine sahiptir (Duan et al., 2006; Forshaw, 2018).



Şekil 5. Man-in-the-Middle Bağlantı Şeması

### 3.1.7. ARP Yanıltma (ARP Spoofing)

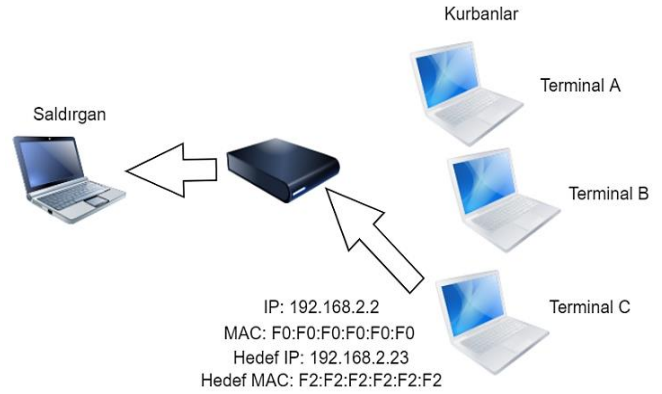
ARP, ethernet üzerinde IP trafiğini verimli yönlendirmek için kullanılır. IP ağları için fazlaca öneme sahiptir. Çalışma mantığı ise sunucuya bağlanmak isteyen terminalin kendine ait IP, MAC adreslerini ve hedef IP, MAC adreslerini ARP paketi olarak oluşturmasıdır Şekil 6 (Forshaw, 2018; Şimşek, 2020).



Şekil 6. Saldırgan ARP Paketi Göndererek Sorgulama Yapması

Şekil 6'da saldırgan tarafından Ethernet vasıtasıyla kullanıcılara ARP paketi gönderilmektedir. Ethernete bağlı kullanıcılar bu paketi almaktadır. Alınan pakete uygun IP ve MAC adresine sahip kullanıcılar geri dönüş yaparlar.

Şekil 7'de gelen pakete uygun içeriğe sahip kullanıcı geri dönüş sağlamıştır. Bu geri bildirim ile sistemde kullanılacak kurban belirlenmiş olmaktadır.



Şekil 7. Saldırganın Gelen Pakete Uygun İçeriğe Sahip Kullanıcı Geri Dönüş Sağlaması

### 3.1.8. Kötü Amaçlı Yazılım (Malware)

Kötü amaçlı yazılım (Malicious software) ifadesinin kısaltmasıdır. Sisteme zarar veren, onu durduran, bilgi sızdıran, manipüle eden veya onu kullanmaya yönelik hazırlanmış kötüçül yazılımlardır (Çeliktaş, 2016; uzmanim.com, 2018; Uzmanim.com, 2018).

Kötü amaçlı yazılımlar grubuna virüs (virus), truva atı (trojan), arka kapı (backdoor), worm (solucan), reklam yazılımı (adware) gibi kötü amaçlı programlar girer. Kötüçül yazılım olarak da bilinen malware, bilgisayar ve ağ üzerindeki herhangi bir sisteme sızmak ve zarar vermek için geliştirilen bir tip yazılımdır. Malware yazılımlar sadece sistemi yavaşlatmaz veya bilgi çalmazlar ve bazıları sisteminizin bir bot görevi görerek başkaları tarafından uzaktan kullanılmasına yol açarlar.

Malware virüslerinde içerisinde olduğu zararlı yazılımların genel adıdır. Farklı amaçlar için kullanılan çok sayıda malware yazılımlar bulunmaktadır.

#### 3.1.8.1. Casus Yazılım (Spyware)

Yazılımcının kendi yazdığı programla, belirli reklamların kullanıcıya gösterilmesi mantığıyla çalışan Adware'den farklı olarak, kullanıcının ekranında belirli reklamları görüntüleyip aynı zamanda takip ve kontrol mekanizması oluşturan programlara "Spyware" denir. Adware'den en belirgin farkı cihazda yapılan kişisel bilgi eklemeleri ve değişimleri daha önceden yazılım içerisine gömülmüş bir sunucuya, internete bağlı olduğunuz zamanlarda gönderen programlardır.

#### 3.1.8.2. Virüs

Virüsler birer programdır, kendi kendilerini kopyalarlar ve bir yerden bir yere bulaşır. Virüs bulaştığı sistemin çalışmasıyla otomatik olarak faaliyete geçer. Bir virüsün bir diğer dosyaya veya sürücüyeye geçmesi çok kolaydır. Sistemin yavaş çalışmasına, sistem bilgilerinin kopyalanmasına, sistemin başkaları tarafından dinlenmesine veya durmasına neden olabilir.

Tablo 3. Tehditlere Örnekler ve Risk Değerleri (European Union Agency for Network and Information Security (ENISA), 2017; Muratoğlu, 2020; Schmittner et al., 2016)

Yapılabilecek Saldırıları	Tehditler	Etki	Minimum Uzmanlık	Önem
OS'ta bilinen Exploit açıkları veya uzaktan kontrol	Rootkit veya Trojan yüklenmesi	ECU kontrolünün kaybedilmesi	1	4
OS'ta bilinen Exploit açıkları veya BufferOverflow	Yazılım Araçlarının Silinmesi	ECU kontrolünün azaltılmasıdır	1	2
Man-in-the-middle Attack	Kullanılacak Şifreyi Gizli Dinleme	Olması Gereken Bağlantıyı Ele Geçirilmesi	1	2
ECU ve Web Server arasında taviz ve DDoS Saldırısı	Gelen verileri kesme amacıyla sistemin durdurulması	ECU'nun durdurulması	1	3
İletişimde Man-in-the-middle attack	Web Server'a manipüle edici veri gönderme	Daha önceden hazırlanmış bakım verileri gereksiz bakıma neden olur	1	1
Malware ve Aynı anda çok fazla ECU'ya veri gönderme	OS veya uygulamaları geçici süreliğine devre dışı bırakır	Sistem fonksiyonlarının azalmasına depolama alanlarının azalmasına neden olur	2	0
OS'ta bilinen Exploit açıkları veya BufferOverflow	Verilere yetkisiz erişim	ECU'nun Kullanımına veya Konfigurasyonuna erişim	1	1
İletişimde Man-in-the-middle attack	Aktarılan Verilere Yetkisiz Erişim	Belirli Erişim Kullanım Verisi	1	1
GPS Spoofing	Gelen GPS verilerinin değiştirilmesi	Belirlenecek rotada değişikliklere neden olur	1	1
Proxy/Socks Saldırısı	Saldırganın Kimliğinin gizli kalmasını sağlar	Sistem tarafından saldırganın adresi doğru belirlenemez	1	0
ARP Spoofing	Saldırganın Kimliğinin gizli kalmasını sağlar	Sistem saldırganın kimliğini doğru tanımlayamaz	1	0

### 3.1.8.3. Truva Atı (Trojan Horse)

Truva atları yararlı yazılımlar gibi görünen bilgisayar programlarıdır, ancak güvenliğinizi tehlikeye atarlar ve pek çok zarara yol açarlar. Yakın geçmişteki bir Truva atı, Microsoft güvenlik güncelleştirmeleri olduğu iddia edilen eklerin bulunduğu bir e-posta görünümündeydi, ancak ektedeki dosyaların virüsten koruma ve güvenlik duvarı yazılımlarını devreden çıkarmayı hedefleyen virüsler olduğu ortaya çıkmıştır (Yüksek, 2014).

### 3.1.8.4. Tuzak Kapanları (Trap doors)

Tuzak kapısı ya da arka kapı, bir sistemin yazılımını yapan kişi tarafından, yazılımın içine gizli bir şekilde yerleştirilen bir virüs yazılımıdır. Bu programın çalıştığı bilgisayara virüsü yerleştiren kişinin, uzaktan erişim yöntemiyle sistem duvarlarını aşarak sızması mümkündür (Alioğlu, 2019; Vinnem & Utne, 2018).

### 3.1.8.5. Solucan (Worms)

Solucan, virüs gibi, kendisini bir sistemden diğerine kopyalamak için tasarlanmıştır ve bunu otomatik olarak yapar. İlk olarak, sistemde dosya veya bilgi ileten özelliklerin denetimini ele geçirir. Sisteminize girdikten sonra kendi başına ilerleyebilir. Solucanların en büyük tehlikesi, kendilerini büyük sayılarda çoğaltma becerileridir (Yaşar & Çakır, 2015).

Kötü niyetli yazılımların genel bir listesini yaparsak:

- Sisteminizi uzaktan yönetirler (remote control-uzaktan kumanda)
- Kişisel bilgilerinizi toplarlar (spyware-casus yazılım)
- Tuş kullanımınızı kaydederler (keyloggers-tuş kayıtçıları)
- Sisteminize sessizce girer ve tamamen ele geçirirler (rootkit-trojan)

Tablo 4. Saldırı Olasılık Parametreleri (ENISA,2017; Schmittner et al., 2016)

Parametreler	Puanlama			
	3	2	1	0
Yetenek	Acemi	Teknisyen	Hacker, Otomotiv Uzmanı	Birçok Alanda Uzman Ekip
Bilginin Kullanılabilirliği	Herkese açık bilgiler	Bakım veya müşteriler için bilgiler edinilebilir	Üretim İçin Bilgiler mevcut	ECU tedarikçilerinin edinebildiği bilgiler
Erişilebilirlik	Güvenilmeyen Ağlar ile daimî erişim	Özel ağlar ile daimî erişim veya güvenilmeyen ağlar ile kısmi erişim	Fiziksel olarak daimî erişim veya özel ağlarla kısmi erişim	Sadece fiziksel olarak erişilebilir
Gereken Ekipmanlar	Herkesin kullanımına açık IT cihazları	Herkese açık özel IT cihazları	Kişiyeye özel tescillenmiş IT cihazları	Çoklu Özel Tasarım, Tescilli IT cihazları

### 3.1.9. Sibil Atak (Sybil Attack)

Saldırganın saldırılan sisteme yanlış sinyaller göndererek sahte kimliklerle sistemin stabilitesini bozması ve kontrolü ele almak istemesidir. Trafikte olmayan araçları var gibi göstererek sistemin doğru çalışmasına sebep olmaktadır (Luo et al., 2019; Sinai et al., 2014).

### 3.1.10. OBD Port Atak (OBD Port Attack)

Diyagnostik portu vasıtasıyla sisteme kablolu olarak sızma işlemidir. Sistemin işletim sistemi tekrar programlayarak sistem kontrol edilebilir.

## 3.2. Otonom Araçlarda Siber Güvenlik Riskleri

Otonom araçlarda sensörlerin kullanımı siber saldırılarla devre dışı bırakılabilir. Bu işlem ile sistemde geçici veya kalıcı hasarlar meydana gelebilir. İnsan kullanımından kaynaklı kazaların önüne geçebilmek için teknolojiden faydalanmak

istenmektedir. Fakat bu siber tehditlerin beraberinde gelmesine sebep olmuştur. Kazaların siber saldırıların sonucunda olma olasılığı gözükmemektedir (El-Rewini et al., 2020; Schmittner et al., 2016). Sahip olunan GPS Sensörü kendine has güvenlik zafiyeti olan GPS Spoofing ile kullanıcı kullanımının etkisiz kalmasına sebep olabilir. Gelen yanlış sinyaller ile sistem bulunduğu veya gideceği konumun lokasyonunu farklı algılayabilir (Çuhadar, 2017). Ortaya çıkan etkilerden diğeri yönlendirme sonucu oluşacak kazalardır. Yönlendirmeler için sistemi yönetme amacıyla Shell Code' lar kullanılabilir. Yapılacak saldırı kullanıcının yetkilerini ele geçirmeye yöneliktir. Shell Code sistemde assembly dilinde yazılmış birtakım kodlar tutmaktadır. Kodlarda yapılacak değişiklikler sistemin çalışmasında sorunlar meydana getirecektir. Bu kodlarda düzeltmeler yapılmadığı takdirde sistem daima başkalarının hakimiyetine açık kalacaktır. Frenleme ve direksiyon hakimiyeti kullanıcının elinden alınmış olacaktır. Aydınlatma sistemleri, Airbag sistemi ve diğer koruma araçları kontrol dışı kalacaktır (Taeihagh & Lim, 2019). Sistem yazılımının yeniden yüklemesi yapılmaya kadar sistemde yönetim başkalarının elinde olacaktır. Tablo 3' de yapılabilecek saldırılar ve bunların oluşturdukları tehditler gösterilmiştir.

Tablo 5. Siber Güvenlik Ağırlık Sınıfları (European Union Agency for Network and Information Security (ENISA), 2017; Schmittner et al., 2016)

Ağırlık Sınıfı	Emniyet	Gizlilik	Maliyet	Performans
0	Yaralanmalar yok	Verilere yetkisiz erişim yok	Finansal kayıp yok	İşlemler üzerinde performans etkisi yok
1	Hafif veya orta dereceli yaralanmalar	Sadece Yapılandırma verileri	Düşük seviyede kayıplar	Etki operatör tarafından fark edilmez
2	Birden çok araçta orta derecede yaralanmalar	Kısmi veriler	Orta derecede kayıp	Birden çok araç için fark edilmeyen performans düşüşü
3	Ölümcül derecede yaralanmalar	Girişe etkisiz veri	Birden fazla araçta orta veya büyük hasar	Birden fazla araç için fark edilebilir performans kayıpları
4	Ölümlü sonuçlanan yaralanmalar	Araçta bulunan ECU' lar için verilere erişim	Birden fazla araç için ağır kayıplar	Birden fazla araç için önemli derecede etki

### 3.3. Otonom Araçlarda Siber Saldırı Olasılık Parametreleri

Siber saldırıların sistem üzerindeki hareketleri, siber saldırıların e-ISSN: 2148-2683

sisteme olan etkileri ve gereken uzmanlık seviyeleri Tablo 3' te gösterilmiştir. Yapılan literatür taramaları ve incelemeler neticesinde otonom araçlara karşı yapılabilecek saldırıların etkileri ve bu saldırılar için gereken donanım değerlendirilmiştir.

Çalışmada sahip olunan ve literatürde geçen zafiyetler değerlendirilerek Tablo 3'te ortaya çıkabilecek açıklıklar olarak verilmiştir. Puanlamalar Tablo 4 ve 5'teki saldırı değerlendirmeleri ve uzmanlık puanlarına göre yapılmıştır.

Tablo 6. Siber Saldırıların Tespiti ve Önleme (ENISA, 2017; Muratoğlu, 2020; Schmittner et al., 2016)

Siber Saldırıları	Siber Saldırı Tespiti	Önleme Teknikleri
GPS Yanıltma (GPS Spoofing)	Sinyalin yüksek çözünürlükte dijitalleştirilmesi ve analizi	Anti Jammer kullanımı
Araya Girme Saldırısı (Man-in-the-Middle)	Bağlantıların beklenmedik kopması ve bilinmeyen lokasyonlar üzerinden bağlantı	HTTPS üzerinden internet kullanımı ve çoklu kimlik doğrulama kullanımı
Bellek Taşması (Buffer Overflow)	Veri yığını tahsis eden hücrelerin denetlenmesi	Değişikliklerin düzeltilmesi
Kötü Amaçlı Yazılım (Malware)	Anti-virüs yazılımların kullanımı	Anti-virüs yazılımlarının kullanımı, İşlemciyi formatlamak
ARP Yanıltma (ARP Spoofing)	Açık kaynaklı paket analizi yapan yazılımlar	Yeni ARP Paketleri belirlemek veya HTTPS ve SSH ile kanal şifreleme
Vekil Sunucu Saldırısı (Proxy/Socks Attack)	IP bağlantılarının taranmasında benzer veya bilinmedik IP bağlantılarının tesbit edilmesi	Kaynak yönlendirme opsiyonlarının pasifleştirilmesi veya ağda IP değiştirme kaldırılması
Hizmet Kesintisi Saldırıları (DDoS Attacks)	Sistemin sitelerle olan bağlantısının beklenmedik şekilde kopması ve değişim izni vermemesi	Sistemin bağlanılacağı sitenin alternatiflerine geçiş sağlanması
Sibil Atak (Sybil Attack)	Sistemde yoğunluğun olmadığı bilindiği halde aşırı yoğunluğun olması	Sensörlerden gelen bilgilerin işlemci tarafından görmezden gelinmesi

Tablo 4'te uzmanlık derecesinin küçüklüğü sistem saldırıları hakkındaki donanımla ters olacak şekilde numaralandırılmıştır. Tablo 5'teki tahribatın büyüklüğü tahribatla doğru orantılı olacak şekilde numaralandırılmıştır. Saldırının önem derecesi ise insani kayıpların, sistemdeki performans kayıplarının, sistemdeki mali zararların, sistemdeki veri sızıntılarının derecesini belirtmektedir. Tablo 4'te saldırı yapabilecek kişilerin uzmanlık seviyelerine göre puanlama yapılmıştır. Herkesin erişebileceği bilgi seviyesi en yüksek sayı olarak, alanında uzman kişilerin erişebileceği bilgi seviyesi en düşük sayı olarak gösterilmiştir. Tablo 3 ve Tablo 4'te sistem açıklıklarının bilinmesi halinde herkesin sistemde değişikliklere neden olabileceği gösterilmiştir.

### 3.4. Otonom Araçlarda Siber Güvenlik Ağırlık Sınıfları

Yapılacak veya yapılan saldırıların kullanıcılara yaşatacağı mağduriyet açısından Tablo 5'te sınıflandırmalar yapılmıştır. Verilecek olan kayıpların derecesi ağırlık sınıfı ile verilmek istenmiştir. Ağırlık derecesiyle verilecek olan kayıp doğru orantılıdır. Kullanıcıların can güvenliği kayıpları emniyet, şahsi bilgi kayıpları gizlilik, bütçesel kayıpları maliyet, sistem

üzerindeki etkisi performans ile sınıflandırılmıştır.

Tablo 7. Siber Saldırıların Tespiti için Kullanılacak Araçlar (ENISA, 2017; Muratoğlu, 2020; Schmittner et al., 2016)

Saldırı Tespit Araçları	Tespit Yöntemleri	Bizlere Sunduğu Veri
Nmap	IP'lere bağlı portların taranması ile port açıklıkları hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Saldırıların yapılabileceği portlar tespit edilebilir.	Portların açıklık durumuna göre Open, Closed, Filtered ve Unfiltered değerlerini bizlere vermektedir.
Maltego	Sistemin IP yollarında bağlı olduğu bağlantı noktalarının haritalamasını çıkararak IP yollarının haritalamasını çıkartır.	Sistemin sahip olduğu bağlantı yollarını bizlere sunar. Dış bağlantıların tamamı IP yolları ile gösterilir.
Metasploit	Veritabanında bulunan sistem dinleme yolları ile sisteme bağlanılabilecek yolları dinlememizi sağlar.	Sistemin sahip olduğu zafiyetler bizlere sunulmaktadır.

## 4. Siber Saldırı Tespit Araçları ve Önleme Teknikleri

Siber saldırılara karşı çeşitli önlemler mevcuttur. Bu çalışmada incelemeler neticesinde üzerinde genel olarak durulacak önlemler sistemde kullanılacak tespit araçları olacaktır. Sistemde kullanılacak tespit araçlarının yanı sıra sistemin dış koruyucu sistemler tarafından da korunması sistemin daha güvenli olmasını sağlayabilmektedir. Çalışma içerisinde tespit araçlarından detaylı olarak bahsedilmiştir. Otonom sistemlerin kendilerinde yüklü olarak denetleme araçlarında bulunması yapılacak denetlemelere kolaylık sağlayacaktır. Siber saldırıların önlenmesi için sistemin düzenli olarak denetlenmesi gerekmektedir. Bu denetlemeler port taramaları ile mümkündür (Marquez, 2010; Technical & Str, 2019). Bu çalışmamızda ele alacaklarımız port taramalarıdır. Yapılan saldırılar kontrolü ele almak olduğu varsayıldığından çalışmamızda araç hareketlerindeki değişimler denetlenerek kontrolün kaybedildiği fark edilecektir. Burada kullanılacak tarama teknikleri; NMAP, Maltego ve Metasploit'dur (Kennedy et al., n.d.; Singh, 2013).

Sistemde bulunan zararlı yazılımların silinmesi gerekmektedir. Zararlı yazılımları metasploit ile denetlemek mümkündür. Sistemlerin sahip olduğu tüm açıklıkların bulunduğu metasploit database vasıtası ile otomobillerin açıklıkları üzerinden denetleme yapılabilir ve tedbirleri alınabilir. Yapılan saldırılar fiziksel olarak bağlantı içermiyorsa kablosuz olarak bağlantılarda IP kullanılarak bağlantı gerçekleştirilebilir. IP hareketlerinin denetimi sistemde var olmadığı bilinen IP'lerin hareketi sonucu bize saldırganın kimliğini verebilir. Kullanılması gereken araç ise Nmap'tir. Nmap sistemin bağlı olduğu ağdaki tüm kullanıcı IP'lerini bize vermektedir. Elde edilecek IP'ler arasında yabancı IP'ler sistem tarafından maruz bırakılacakları paketlerle devre dışı kalabilmektedir.



## 4.1. Siber Saldırı Tespit Araçları

Saldırı için sistem açıklıklarını bizlere bildirecek araçlarımız mevcuttur. Araçlarımızın kullanımı ile sistem açıklıkları fark edilerek giderilebilir. Kullanılabilir tespit ve denetleme araçları kullanımı ile sistemde güvenlik için kolaylıklar sağlayabilmektedir. Saldırı tespit araçlarımızın isimleri, tespit için yöntemleri ve bizlere sunduğu veriler Tablo 7’ de gösterilmiştir. Çalışma boyunca Nmap, Maltego ve Metasploit incelemeleri yapılmıştır.

### 4.1.1. NMAP

Sistemlerde genel olarak bilinen 65.532 adet port mevcuttur. Bu portlarla kullanıcıların kullanımını kolaylaştıracak cihazlara ve yardımcı olacak dış bağlantılara erişim gerçekleştirilmektedir. Bu bağlantılar kullanılarak siber saldırılar gerçekleştirilmesine karşı NMAP ile tarama gerçekleştirilmektedir. NMAP kendisine özel olarak port belirtilmez ise en sık kullanılan 1000 portu taramaktadır. Burada dışarıdan gelecek bağlantılar ile IP adreslerinin taramaları sonucu yabancı, bilinmeyen bir IP kullanılarak sisteme bağlanma durumu denetlenmektedir. Sistemin tanınması da çok önemlidir çünkü kullanılacak tarama yönteminde sistemde bulunan tüm IP adresleri taranmaktadır.

NMAP’ te varsayılan olarak TCP taraması yapılmaktadır (THT, 2020). Kullanıcının kendisine ait IP adresi ve sistemde yardımcı kullanılan IP adresleri open olarak sistemde görülebilir. Şekil 8’ de görüldüğü gibi. Çıktı olarak Port, State ve Service bilgileri alınmaktadır.

- Port, port numarasını kullandığı protokolü gösterir.
- Servis (Service), port üzerinde çalışan servis isimlerini belirtir.
- Durum (State), portun open, closed veya filtered olduğunu gösterir.
- Açık (Open): portun erişilebilir olduğunu göstermektedir.
- Kapalı (Closed): portun erişilebilir olduğunu fakat üzerinde değişiklik yapılamayacağını göstermektedir.
- Filtreli (Filtered): filtreleme portun filtreleme mekanizması tarafından engellendiği manasına gelmektedir. Portun açık veya kapalı olması durumuna dair bir bilgi yoktur.
- Filtresiz (Unfiltered): porta erişilebilir fakat açık veya kapalı olduğuna dair fikir yoktur.
- Açık Filtrelenmiş (Open Filtered): port açık veya filtrelenmiş olabilir. Bu durum çözümlenememiş.

```
Nmap scan report for 10.0.2.2
Host is up (0.0016s latency).
Not shown: 997 filtered ports
PORT      STATE SERVICE
80/tcp    open  http
135/tcp   open  msrpc
445/tcp   open  microsoft-ds
MAC Address: 52:54:00:12:35:00 (QEMU virtual NIC)
```

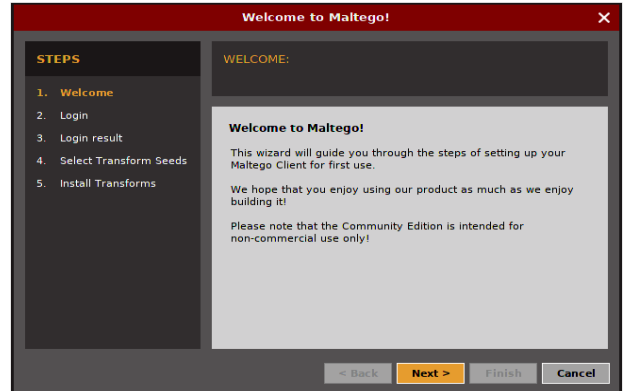
Şekil 8. Nmap’te taranan bir IP’nin port sonuçları (Andress & Winterfeld, 2011; Çıtak, 2020).

Şekil 8’ de 10.0.2.2 IP adresine bağlı cihazın taraması yapılmıştır. Gösterilen portlar arasında 3 port açıktır (Andress &

Winterfeld, 2011; Çıtak, 2020).

### 4.1.2. Maltego

Saldırı yapılacak sistemler hakkında bilgi sahibi olmak önemlidir. Sistemler hakkında pasif ve aktif bilgiler toplayarak sistem hakkında yeterince bilgiye sahip olunmalıdır. Pasif bilgiler; hakkında bilgi toplanması istenen sistemin internet üzerinde sabit bulunan bilgilerdir. Arama motorları, sosyal paylaşım platformları, whois ve DNS sorgu siteleri, kişisel bilgi toplayan siteler bize bu bilgileri sağlayabilir. Aktif bilgiler; IP, sunucu ve servis sağlayıcılar üzerinden DNS ve alt alan adlarının edinilmesidir (Çelik, 2020). Maltego, sistemin aktif ve pasif bilgilerimi bize sunan araçtır. Paterva tarafından Java programlama dilinde geliştirilmiştir. Ücretsiz ve ticari sürümleri mevcuttur. Güvenlik alanında uzmanlar ve bu alanda kendini geliştirmek isteyenler tarafından açık kaynak bilgileri toplamak ve bu bilgileri analiz etmek için kullanılmaktadır (Andress & Winterfeld, 2011; Hai-Jew, 2014). Sistemin IP ve bağlantı bilgilerini verir. Tarama da kullanıcının bağlı olduğu tüm sistemler, araçlar, IP adresi veren bağlantılar, ağ bağlantıları, aktif veri gönderilen alıcılar, aktif veri alınan göndericilere dair tüm açık kaynaklı bilgiler, sistemin erişebildiği ve sisteme iletilen tüm bilgiler, websiteler, IPv4 adresleri, e-posta adresleri, domain adresleri ve URL adreslerini bizlere sunabilmektedir. Kendilerine ait websitelerinden alınan aktivasyon kodu ile kullanılabilir (Agus & Pratama, 2019; Ağyol, 2020; Hai-Jew, 2014; Maltego.com, 2020). Maltego’ nun açılışında karşımıza çıkan ekran Şekil 9’ da verilmiştir.



Şekil 9. MaltegoProgramı Açılış Ekran

### 4.1.3. Metasploits

2003 yılından beri geliştirilen, kendisine ait sistemde güvenlik açıklarının bulunmasını kolaylaştıran ve kontrolünün yapılmasını sağlayan açık kaynak kodlu bir platformdur. Metasploit 2.0 Perl, Metasploit 3.0 Ruby dilinde kodlanmıştır. Sistemlerde çalışan servis ya da uygulamaların güvenlik açıklarını bizlere sunar. Sahip olduğu Framework üzerinde 1400+ exploits, 800+ auxiliary modül, 400+ payload, 30+ encoder ve 8 nobs mevcuttur. Mevcut araçlarla saldırı, dinleme ve açıklık tespiti yapılabilir (Baggett, 2008; Singh, 2013). Metasploit Framework kendisine ait bir veritabanına sahiptir. Açıklıkların neler olduğu, nasıl kullanıldığı gibi bilgiler mevcuttur. Açıklıkların kullanımına kolaylık sağlaması için kullanımında beraberinde açıklanmıştır. Bilgi toplama, açıklıkların tespiti, güvenlik noktalarından yetkiye gerek duymadan geçiş gibi bazı modüllerinde kullanım vardır. Kullanım kolaylığı sağlayacak metotlar şunlardır:

- İstismar (Exploits): Hedef alınan sistemde bulunan açıklıkları kullanarak sistemin servis dışı çalışmasına neden olacak sistem açıklıklarıdır. Exploits saldırıları sistemde çalışmayan veya Bug olarak nitelendirilen tüm açıklıkların kullanılması sonucu sistemin kullanım dışı kalmasına sebep olacak metotların kullanımınıdır.
- Şifreleme (Encoder): Sistemde güvenlik noktalarında atlatma yapma amacıyla gerekli kriptolama işleminin yapılmasıdır.
- Payload: Sistem bağlantılarının dinlenmesi amacıyla yazılmış saldırı kodlarıdır. Webcam, speaker, bluetooth bağlantılar, wireless gibi sistem bağlantılarını dinleme ve izleme yapılabilir. Saldırı sonrası sistemde değişiklikler yapılabilir.
- Yedek (Auxiliary): Sistemde saldırı öncesi bilgi toplama amacıyla yapılan saldırılardır. Servis tespiti, port taramaları, zafiyet taramaları ve tüm istemciler için kullanılan araçlar bu başlık altında mevcuttur.
- Not Operasyonu (Nops): “Not Operation” bellek yerlerini öğrenme amacıyla bellekte yer dolduran bitler. Amaçları saldırı tespit etme ve sistemleri yanıltmak için kullanılır. Program ilerleme akışı değiştirilebilir ve rastgele bir yere atlanabilir.

Metasploit kendine özgü dosyalama sistemi özellikleri (Altınkaynak, 2020);

- Veri (Data): Datalar metasploit tarafından işlenebilir ve değiştirilebilirler
- Lib: Framework sisteminin ana yapı kütüphanesidir.
- Eklentiler (Plugins): Framework’ün tüm özelliklerini kullanabilen eklentidir.
- Araçlar (Tools): komut satırında çalışan yerine göre işlemleri halleden araçlardır.
- Dış (External): Harici kaynaklar, 3. Parti yazılımlar ve kaynak kodlardır.
- Dökümantasyon (Documentation): Framework’ü bilgilendirmek için kullanılan belgelerdir.

## 4.2 Otonom Araçlarda Siber Saldırıları Önleme Yöntemleri

Araç işlemci ağları, bilgisayar korsanlarının ulaşması zor olan kontrol birimleriydi ve fiziksel etkileşim olmadan kontrol mümkün değildi (McAfee, 2016). Fakat günümüzde fiziksel erişim olmadan da bu ağlara erişmek mümkün hale gelmiştir. Standartlaştırılmış işlemci yapısı ortak ağlarla birbirine bağlanmasının ardından sistemlerde doğan açıklıklarla bağlantı kablosuz olarak mümkün olmaktadır. Bu saldırıları yapabilmek için en azından araç alt sistemleri uzmanı veya hacker olmak gerekmektedir.

İşlemci veri yollarına saldırı yapabilmek için hazırlanmış kötü amaçlı kodlar işlemciye yüklendiğinde sistemde kontrol mümkün olmaktadır. Sistemde bulunan dış müdahaleleri tespit edebilmek için sistemin belirli aralıklarla denetlenmesi gerekmektedir. Dış müdahalelerde sistem içerisinde bilinen IP hareketleri dışında IP hareketleri tespit edilmektedir. Sisteme saldırı yapılmadan önce alınması gereken önlemler oldukça önemlidir (Schmittner et al., 2016). Sisteme trojan ve rootkit gibi yüklemeler yapılabilmektedir. Sisteme konfigürasyon esnasında yanlış konfigürasyon yüklemesi yapılabilir.

Sistem kontrolünün kaybedilmesinden önce alınması gereken önlemler;

- Sistemin bağlı olduğu cihazların belirli aralıklarla denetlenmesi,
- Yetkisiz ve yanlış konfigürasyon verilerinin uygulanmasını önlemek,
- Bilinmeyen kaynaklardan gelen yazılım güncellemelerinin kabul edilmemesi,
- Sistemin kablolu ve kablosuz bağlantılarının sık sık denetlenmesi,
- Tablo 3’ de bahsedilen açıklıkların kullanılmasına yönelik önlemler almak.

Sistem kontrolünün kaybedilmesinin ardından yapılması gerekenler;

- Nmap te IP’ ler için port taramaları yapılmalıdır,
- Dış müdahaleler için açık olan portlar kapatılmalıdır,
- Maltego’da bağlantı yapılan noktalar için taramalar yapılmalıdır. Dış müdahale için açık olan bağlantılar kapatılmalıdır,
- Metasploit ile sistem açıklıkları için testler yapılmalıdır.

Sistemin kontrolünün kaybedilmesinin ardından sistemde denetimler yapılmalıdır. Denetimlerin yapılabilmesi için kullanılması gereken araçlar mevcuttur. Sisteme dışarıdan bağlantı sağlayabilecek olan tüm portlar taranmalıdır. Taramalarda amaç sisteme sızmak için kullanılan IP adreslerinin tespiti ve bunların sistem tarafından bertaraf edilmesidir. Taramalar için en çok tercih edilen araç Nmap aracıdır. Açılımı “Networking Mapping” Ağ Haritalamadır (Altınkaynak, 2020; Çıtak, 2020).

Sistemin internet üzerinden taramaları için ise Maltego aracı kullanılmaktadır. Nmap ve Maltego araçları bizlere bağlı olduğumuz serverları, ağları vermektedir. Bilinen bağlı cihazlar ve IP adresleri dışında sistemde bulunan cihazlar ve IP’ler sisteme giren yabancı sistemler olarak kabul edilirler. Sistemin açıklıklarının tespiti için kullanılan araç Metasploit Framework’tür. Herhangi bir sistem içerisinde bulunan açıklıklar Metasploit Framework içerisinde mevcuttur (Singh, 2013). Uzmanlar, yetkililer ve kendi güvenliğini sağlamak isteyen kullanıcılar bu araçları kullanarak sistemlerindeki açıklıkları ve sızmaları tespit edebilmektedirler.

Sistemde kontrolün kaybedilmesinin ardından yapılması gerekenler sistemin içerisinde açıklıkları keşfederek bu açıklıkların giderilmesi olmalıdır. Sistem bilgilerini bizlere verecek bazı araçlarımız mevcuttur. Siber güvenlikte kullanılan tarama araçları ile sistemde sızma testleri yapılarak sızma noktaları veya yazılımsal açıklıklar bulunabilir. Buna ilave olarak sızma noktaları üzerinden açıklıklarda giderilebilir.

## 5. Otonom Araçlarla İlgili Son 5 Yılda Yapılmış Çalışmalar

Otonom araçlarda haberleşme, veri iletimi ve dış bağlantıları üzerinde açıklıkların incelendiği akademik çalışmalar incelenmiştir. İncelenen çalışmalarda otonom araçların açıklıklarının kablosuz dış bağlantılar üzerinden olduğu görülmüştür. Saldırılarda sistem açıklıklarının kontrolün

kaybedilmesine sebep olan alanlarda düzeltmeler için açıklamalarda ve tavsiyelerde bulunulmuştur. Tablo 8' de incelen akademik çalışmada ve inceleme yöntemlerinden bahsedilmiştir. İncelenen araştırmalarda riskleri kümelemek ve sıralamak için değerlendirmelerde bulunulmuştur. Yapılan saldırı incelemeleri genel olarak kablosuz bağlantı vasıtası ile işlemciye ve otonom araçlar için kullanılan işletim sistemlerine yapılmaktadır. Sistem işlemcilerine sızma yapabilmek için kablolu olarak fiziksel bağlantı veya kablosuz olarak ağ bağlantıları gerekmektedir. Saldırının yapılmasından önce sistemin gereken önlemleri almış olması gerekmektedir. Sisteme sızma gerçekleşmişse, sızmanın bertaraf edilebilmesi için gereken sistemin denetlenmesi ve sisteme gönderilmiş kötü amaçlı yazılımın sistemden silinmesi gerekmektedir. Silinme işlemi gerçekleştirilemez ise sistem ve kullanıcı zarar görebilmektedir (Cerrudo et al., 2020).

## 6. Sonuç

Yapılan çalışmada amaç otonom hale gelen teknolojik araçların ve özellikle otomobillerin kullanımını tehdit eden siber saldırıların nasıl bertaraf edilebileceği değerlendirilmiştir. Genel olarak sistemin çalıştığı işlemcilerden doğan açıklıklar kullanılarak yapılan saldırıların sistemin kontrolünün ele geçirilmesi, durdurulması ve sistemin kapatılmasıdır.

Saldırıların yapılabilmesi için kablosuz bağlantı olmalıdır. Sistemin çalışması için kablosuz bağlantının olmaması mümkün olmadığından dolayı sistemin kullanıcı tarafından kontrollü şekilde kullanılması gerekmektedir. Sistem mimarisi temel olarak bir işlemciye ihtiyaç duymaktadır. Sistem yapısı gereği siber saldırılara müsaittir. Sistemde diğer parçalar; konum sensörü, görüş sensörü, araç parçaları sensörleri ve kablosuz iletişim modülleridir. Tüm bu sensörler kendilerinin kullanımından doğan açıklıklarla beraber kullanılmaktadır. Kullanım için gereken

tedbirler alınmalı tüm sistem düzenli aralıklarla denetlenmelidir. Yapılan saldırılar genellikle otomobillerin işlemcilerine yönelik olmasından dolayı sisteme gelebilecek güncellemeler bilinen kaynaklardan gelip gelmediği kontrol edilmelidir. Bilinmeyen kaynaklardan gelen güncellemeler veya kalibrasyon güncellemeleri yapılmamalıdır. Kullanıcı dışında müdahale için izin verilmemelidir.

Sistem uzmanları, meraklıları, bu alanda kendini geliştirmek isteyenler ve kullanıcılar tarafından denetlenebilmektedir. Bunun için sistem denetimini sağlayan araçlar mevcuttur. Kablosuz bağlantı vasıtasıyla sisteme sızma yapılabilmesi için IP kullanımından dolayı sistem taramalarında çıkacak bilinmeyen IP' ler devre dışı bırakılmalıdır. Sistemlerin daima kablosuz bağlantısının olacağı düşünüldüğünden bu alanda tarama ve izinsiz girişler reddedilecek şekilde kullanılmalıdır. Sisteme müdahale olduğu düşünüldüğünde sistem dosyalarının denetimi yapılmalı ve zararlı yazılımlar tespit edildiğinde sistemden silinmelidir. Sistem kullanımında denetleme aşaması atlanmamalıdır. Sistemde yabancı olduğu bilinen veya kimliği bilinmeyen hareketlere izin verilmemelidir.

Anti-virüs şirketleri ve bu alanda çalışma yapan uzmanların çalışmaları, yapılan siber saldırıların işlemciye yönelik olması nedeniyle işlemcinin kontroldeki payını düşürmeye yönelik olacaktır. Bu sayede işlemcinin siber saldırılarda kullanımı azalacaktır. Kontroldeki payının düşmesiyle işlemci açıklıklarında riskler azalacaktır. Bu çalışmalar saldırganların yeni saldırı metotları aramalarına sebep olacaktır. Bu sayede sistemlerde uzunca bir süre bilinen metotlarla saldırı yapılamayacaktır.

Tablo 8. Son 5 Yıl İçerisinde Otonom Araçlarla İlgili Yapılmış Çalışmalar

Çalışma İsmi	Yazar	Yıl	Yayın Yeri	İnceleme/Yöntem
<i>Cyber Security and Resilience of smart cars</i>	Dotan, A. Maple, C. Cleemann, L. & Friends	2016	European Union Agency For Network And Information Security (ENISA)	Akıllı ulaşım araçlarının sahip olduğu kablolu ve kablosuz haberleşme araçlarında meydana gelebilecek siber saldırılar incelenmiştir.
<i>Using SAE J3061 for Automotive Security Requirement Engineering</i>	Schmittner, C. Ma, Z. Reyes, C. & Friends	2016	International Conference on Computer Safety, Reliability, and Security	Siber saldırıların otomobillerde ve insanlarda meydana getirebileceği hasarlar incelenmiştir.
<i>Cybersecurity in Autonomous Vehicles</i>	Morimoto, S. Wang, F & Friends	2017	Introduction to Applied Information	Otomobillerin sahip olabileceği servis saldırıları, ECU, CAN ve BUS saldırıları incelenmiştir.
<i>İnsansız Hava Aracı Sistemlerinde Bilgi Güvenliği</i>	Çuhadar, İ.	2017	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	Navigasyonla hareket eden otonom araçlarda GPS Spoofing açıklığı üzerine bir çalışmadır.
<i>Automotive Security Best Practices</i>	Brown, D. A. Clare, D. Wasicek, A. & Friends	2017	McAfee White Paper	Otomobillerin sahip olduğu yazılımlarda açıklıklar üzerine çalışmalardır.
<i>A cyber-threat analytic model for autonomous detection of virtual property theft</i>	Patterson, N. Hobbs, M. Zhu, T.	2017	Information and Computer Security	Siber tehditlerin ve hırsızlık olaylarına dair analitik model üzerine bir incelemedir.
<i>Connected and autonomous vehicles: A cyber-risk classification framework</i>	Sheeman, B. Murphy, F. & Friends	2019	Transportation Research Part A	Otonom otomobillerin kablosuz bağlantılarına karşı yapılabilecek saldırılar üzerine incelemeler yapılmıştır.
<i>A taxonomy and survey of cyber-physical intrusion detection approach for vehicles</i>	Loukas, G. Karapistoli, E. & Friends	2019	Ad Hoc Networks	Otomobil beyinlerine karşı yapılabilecek siber saldırıların incelenmesi yapılmıştır.



<i>Siber Saldırıları ve Ülkelerin Siber Güvenlik Yöntemleri</i>	Alioğlu, S. D.	2019	İstanbul Bilgi Üniversitesi	Ülkelerin siber saldırılara karşı alacağı tedbirler ele alınmıştır.
<i>Autonomous Shipping &amp; Cybersecurity</i>	Crespo, J. P. Gomez, L.G. Areas, J.G.	2019	Ship Science & Technologies	Otonom seyahat eden gemilerde siber saldırılar için alınmış tedbirlerin incelenmiştir.
<i>Akıllı Araçlar İçin Bulanık Mantık Temelli Siber Güvenlik Risk Modeli</i>	Muratoğlu O.	2020	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	Akıllı Otomobillerdeki sensörler ve veri okuma cihazları üzerinde siber saldırı riskleri incelenmiştir.
<i>Cybersecurity challenges in vehicular communications</i>	Zeinab El-R. Sadatsharan, K. & Friends	2020	Vehicular Communications	Otomobiller arası iletişime karşı yapılabilecek siber saldırılar incelenmiştir.
<i>LoRaWAN Networks Susceptible to Hacking: Common Cyber Security Problems, How to Detect and Prevent Them</i>	Cerrudo, C. & Friends	2020	Securing Smart Cities White Paper	Akıllı cihazlar siber güvenlik riskleri ele alınmıştır.

## Kaynakça

- Agus, I. P., & Pratama, E. (2019). Open Source Intelligence Testing Using the OWASP Version 4 Framework at the Information Gathering Stage ( Case Study: X Company ). *International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS)*, July, 8–12. <https://doi.org/10.5815/ijcnis.2019.07.02>
- Ağyol, Ü. (2020). *Maltego nedir nasıl kullanılır*. <https://www.unluagayol.com/2011/12/maltego-nedir-nasl-kullanlr.html>
- Alioğlu, S. D. (2019). Siber Saldırıları ve Ülkelerin Siber Güvenlik Politikaları. *İstanbul Bilgi Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- Altınkaynak, M. (2020). *Siber Güvenlik ve Hacking*. Abaküs Yayınları.
- Andress, J., & Winterfeld, S. (2011). Cyber Warfare Techniques, tactics, and tools. In *Cyber Warfare*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-416672-1.00001-5>
- Baggett, M. (2008). Effectiveness of antivirus in detecting Metasploit payloads. *SANS Institute*.
- Bellu, S. (1998). *Les pionniers de la locomotion terrestre*.
- Bezai, N. E., Medjdoub, B., Al-Habaibeh, A., Chalal, M. L., & Fadli, F. (2020). Future cities and autonomous vehicles: analysis of the barriers to full adoption. *Energy and Built Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.05.002>
- Çelik, H. (2020). *Bilgi Güvenliği Ve Sızma Testleri* (Vol. 21, Issue 1). <https://doi.org/10.1155/2010/706872>
- ÇELİKTAŞ, B. (2016). *Siber Güvenlik Kavramının Gelişimi Ve Türkiye Özelinde Bir Değerlendirme*. 1–10.
- Cerrudo, C., Martinez, E., & Sequeira, M. (2020). *LoRaWAN Networks Susceptible to Hacking: Common Cyber Security Problems, How to Detect and Prevent Them*. January, 27. [https://act-on.ioactive.com/acton/attachment/34793/f-87b45f5f-f181-44fc-82a8-8e53c501dc4e/1/-/-/-/LoRaWAN\\_Networks\\_Susceptible\\_to\\_Hacking.pdf](https://act-on.ioactive.com/acton/attachment/34793/f-87b45f5f-f181-44fc-82a8-8e53c501dc4e/1/-/-/-/LoRaWAN_Networks_Susceptible_to_Hacking.pdf)
- Çitak, Ö. (2020). *Offensive & Defensive Ethical Hacking*. Abaküs Yayınları.
- Congress, L. of. (2018). *What is a GPS?*
- Coulibaly, T. (2007). *Il ya un siècle, l'automobile*. Éd." Ouest-France.
- Çuhadar, İ. (2017). İnsansız Hava Aracı Sistemlerinde Bilgi Güvenliği Ve Risk Tabanlı Çok Kriterli Karar Verme Modeli İle Değerlendirilmesi [Gazi Üniversitesi]. In *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Vol. 11, Issue 3). [https://www.m-culture.go.th/mculture\\_th/download/king9/Glossary\\_about\\_HM\\_King\\_Bhumibol\\_Aduyadej's\\_Funeral.pdf](https://www.m-culture.go.th/mculture_th/download/king9/Glossary_about_HM_King_Bhumibol_Aduyadej's_Funeral.pdf)
- Devichnick. (2017). *Самокатка Кулибина*. <https://web.archive.org/web/20170127231326/http://www.devic>

- hnick.ru/031kulibin.htm
- Duan, Z., Yuan, X., & Chandrashekar, J. (2006). Constructing inter-domain packet filters to control IP spoofing based on BGP updates. *Proceedings - IEEE INFOCOM*. <https://doi.org/10.1109/INFOCOM.2006.128>
- Eckermann, E. (2001). *World history of the automobile*. SAE.
- El-Rewini, Z., Sadatsharan, K., Selvaraj, D. F., Plathottam, S. J., & Ranganathan, P. (2020). Cybersecurity challenges in vehicular communications. *Vehicular Communications*, 23, 100214. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2019.100214>
- Elif Tuğba KILIÇ. (2015). Siber Saldırıları İzleme Yöntemleri Ve Zararlı Yazılım Analizi. In *Journal of Visual Languages & Computing*. Gazi Üniversitesi.
- Esteban, B. (2019). *Vehículos Autónomos*.
- European Union Agency for Network and Information Security (ENISA). (2017). Cyber security and resilience of smart cars. Good practices and recommendations. In *2017-02-1* (Issue December). <https://doi.org/10.2824/87614>
- Feng, S. (2019). *Cognitive Dynamic System for Connected and Autonomous Vehicles*.
- Forshaw, J. (2018). *Attacking Network Protocols*.
- Gps.gov. (2020). *what is GPS?* <https://www.gps.gov/systems/gps/>
- Green, H. (1925). Radio Controlled Automobile. *Radio News*, 592, 656.
- Gridin, A. (2017). *Трёхколесное чудо механика Кулибина*. <https://web.archive.org/web/20170715203308/http://www.carse-ller.ru/articles/10-01-2008.1350.html>
- Hai-Jew, S. (2014). *Using Maltego Tungsten™ To Explore the Cyber-Physical Confluence in Geolocation*. 2014, 236–385. [https://scholarspace.jccc.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://scholar.google.es/&httpsredir=1&article=1082&context=c2c\\_sidlit](https://scholarspace.jccc.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://scholar.google.es/&httpsredir=1&article=1082&context=c2c_sidlit)
- Haider, Z., & Khalid, S. (2017). Survey on effective GPS spoofing countermeasures. *2016 6th International Conference on Innovative Computing Technology, INTECH 2016*, 573–577. <https://doi.org/10.1109/INTECH.2016.7845038>
- Han, K., Weimerskirch, A., & Shin, K. (2014). Automotive Cybersecurity for In-Vehicle Communication. *IQT Quarterly*, 6(1), 22–25. [https://kabru.eecs.umich.edu/papers/publications/2014/IQT\\_Quarterly\\_Summer\\_2014\\_Han\\_et\\_al.pdf](https://kabru.eecs.umich.edu/papers/publications/2014/IQT_Quarterly_Summer_2014_Han_et_al.pdf)
- İSPIR, M. T. (2019). Endüstriye Amaçlı Bir Otonom Robotun Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi [Fırat Üniversitesi]. In *Fırat Üniversitesi*. <https://doi.org/10.1145/1390630.1390641>
- Jadon, A. K., Wang, L., Li, T., & Zia, M. A. (2018). Lightweight Cryptographic Techniques for Automotive Cybersecurity. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1640167>



- Kendi, A. (2017). *Sürücüsüz Araçlar ve Türkiye*. [https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/1412201715732202\\_stm\\_surucusuzaraclar\\_pdf](https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/1412201715732202_stm_surucusuzaraclar_pdf)
- Kennedy, D., Gorman, J. O., Kearns, D., Aharoni, M., & Moore, H. D. (n.d.). *Metasploit*.
- Luo, Q., Cao, Y., Liu, J., & Benslimane, A. (2019). Localization and Navigation in Autonomous Driving: Threats and Countermeasures. *IEEE Wireless Communications*, 26(4), 38–45. <https://doi.org/10.1109/MWC.2019.1800533>
- Maltego.com. (2020). *Maltego*. <https://www.maltego.com>
- Marquez, C. J. (2010). An Analysis of the IDS Penetration Tool: Metasploit. *The InfoSec Writers Text Library*, 9. [http://www.infosecwriters.com/text\\_resources/pdf/jmarquez\\_Metasploit.pdf](http://www.infosecwriters.com/text_resources/pdf/jmarquez_Metasploit.pdf)
- McAfee. (2016). Automotive Cyber Security Best Practices. *Auto Tech Review*, 5(8), 20–25. <https://doi.org/10.1365/s40112-016-1180-1>
- Milev, G., Hastings, A., & Al-Habaibeh, A. (2019). *Investigating The Effect of Expanding The Use of Electric Cars On The Environment: A Case Study From Scotland*.
- Miller, O. (2014). *Robotic Cars and Their New Crime Paradigms*. <https://www.linkedin.com/pulse/20140903073835-260074537-robotic-cars-and-their-new-crime-paradigms>
- Molla, T., & Elektronik, T. M. (2018). *Self-Driving car*. December. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36042.82885>
- Morimoto, S., Wang, F., Zhang, R., & Zhu, J. (2018). Cybersecurity in Autonomous Vehicles. *Researchgate.Net*, May 2017. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31503.23207>
- Muratoğlu, O. (2020). Akıllı Araçlar İçin Bulanık Mantık Temelli Siber Güvenlik Risk Modeli. *Journal of Visual Languages & Computing*, 11(3), 55. [https://www.m-culture.go.th/mculture\\_th/download/king9/Glossary\\_about\\_HM\\_King\\_Bhumibol\\_Aduiyadej's\\_Funeral.pdf](https://www.m-culture.go.th/mculture_th/download/king9/Glossary_about_HM_King_Bhumibol_Aduiyadej's_Funeral.pdf)
- Naranjo, J. E., Bouraoui, L., García, R., Parent, M., & Sotelo, M. Á. (2009). Interoperable control architecture for cybercars and dual-mode cars. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 10(1), 146–154. <https://doi.org/10.1109/TITS.2008.2011716>
- OWASP. (2015). *Man in the Middle Attack*. [https://www.owasp.org/index.php/Man-in-the-middle\\_attack](https://www.owasp.org/index.php/Man-in-the-middle_attack)
- Pancorbo Crespo, J., Guerrero Gomez, L., & Gonzalo Arias, J. (2019). Autonomous Shipping and Cybersecurity. *Ciencia y Tecnología de Buques*, 13(25), 19–26. <https://doi.org/10.25043/19098642.185>
- Parkinson, S., Ward, P., Wilson, K., & Miller, J. (2017). Cyber Threats Facing Autonomous and Connected Vehicles: Future Challenges. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(11), 2898–2915. <https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2665968>
- Patterson, N., Hobbs, M., & Zhu, T. (2017). A cyber-threat analytic model for autonomous detection of virtual property theft. *Information and Computer Security*, 25(4), 358–381. <https://doi.org/10.1108/ICS-11-2016-0087>
- Polat, Ç. (2016). Penetration tests and security solutions for corporate networks. In *Master of Science Thesis, Dokuz Eylül University İzmir*.
- Puiboube, D. (2000). *Un siècle d'automobile en France*.
- Schmittner, C., Ma, Z., Reyes, C., Dillinger, O., & Puschner, P. (2016). *Using SAE J3061 for Automotive Security Requirement Engineering*. 1(November 2018), 286–297. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45480-1>
- Sheehan, B., Murphy, F., Mullins, M., & Ryan, C. (2019). Connected and autonomous vehicles: A cyber-risk classification framework. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 124(November 2018), 523–536. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.06.033>
- Şimşek, H. F. (2020). *ARP Spoofing*. <https://includekarabuk.com/kategoriler/cesitliSizmaTeknikleri/Arp-Spoofing-Saldirisi-Nedir-ve-Nasil-Yapilir.php>
- Sinai, M. Ben, Partush, N., Yadid, S., & Yahav, E. (2014). *Exploiting Social Navigation*. <http://arxiv.org/abs/1410.0151>
- Singh, A. (2013). *Metasploit Penetration Testing Cookbook*. In *Network Security* (Vol. 2013, Issue 11). [https://doi.org/10.1016/s1353-4858\(13\)70125-9](https://doi.org/10.1016/s1353-4858(13)70125-9)
- Sweshsec. (2020). *vulnerability exploitation*. <https://sweshsec.wordpress.com/2015/07/31/vsftpd-vulnerability-exploitation-with-manual-approach/>
- Taeihagh, A., & Lim, H. S. M. (2019). Governing autonomous vehicles: emerging responses for safety, liability, privacy, cybersecurity, and industry risks. *Transport Reviews*, 39(1), 103–128. <https://doi.org/10.1080/01441647.2018.1494640>
- Taymans, A., Taymans, A., & De, G. (2020). *Gestion de trafic par les assistances coopératives To cite this version : HAL Id : tel-02903323 Docteur De l ' Université De Bordeaux École doctorale des Sciences Physiques et de l ' Ingénieur Spécialité : Automatique , Productique , Signal et Image Alexa*.
- Technical, F. O. F., & Str, U. (2019). *Implementation Of The Web Based Platforms For Collecting And Footprinting IP Information Of Hosts In The Computer Network And Systems* Petar Kr. Boyanov. 16, 42–50.
- THT. (2020). *Nmap Kullanımı*. <https://www.turkhackteam.org/network/1744147-detayli-nmap-kullanimi.html>
- TÜİK. (2018). *Trafik Kaza ve Denetim İstatistikleri*. [https://www.pa.edu.tr/Upload/editor/files/Trafik\\_Kaza\\_ve\\_Denetim\\_İstatistikleri.pdf](https://www.pa.edu.tr/Upload/editor/files/Trafik_Kaza_ve_Denetim_İstatistikleri.pdf)
- Tunalı, M. M. (2019). *Otonom Araçların Tarihçesi*. <https://www.tekyolbilim.com/otonom-araclarin-tarihcesi/>
- Ünver, M. (n.d.). *Uluslararası Kuruluşların Siber Güvenlik Faaliyetleri*.
- Ünver vd. (2009). Siber Güvenliğin Sağlanması: Türkiye’de ki Mevcut Durum ve Alanması Gereken Tedbirler. In *Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu*.
- Ustam, B. (2020). *Otonom araçlar nedir*. [https://www.bilgiustam.com/surucusuz-otonom-araclar/uzmanim.com](https://www.bilgiustam.com/surucusuz-otonom-araclar/)
- uzmanim.com. (2018). *Malware Nedir?* <https://uzmanim.net/soru/emsisoft-anti-malware-nedir-nasil-kullanilir/3908>
- Uzmanim.com. (2018). *malware ve türleri nelerdir?* <https://uzmanim.net/soru/malware-nedir-turleri-nelerdir/25343>
- Vers, J. B., Hydractive, C., Doctorale, É., Sciences, D. E. S., & Et, P. (2019). *Vers une version alternative à la suspension CRONE Hydractive To cite this version : HAL Id : tel-02119390 Jean-Louis BOUVIN Spécialité : Automatique Vers une version alternative à la suspension CRONE Hydractive*.
- Vinnem, J. E., & Utne, I. B. (2018). Risk from cyberattacks on autonomous ships. *Safety and Reliability - Safe Societies in a Changing World - Proceedings of the 28th International European Safety and Reliability Conference, ESREL 2018*, 1485–1492. <https://doi.org/10.1201/9781351174664-188>
- Yaşar, H., & Çakır, H. (2015). Kurumsal Siber Güvenliğe Yönelik Tehditler ve Önlemleri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3, 488–507.
- Yüksek, H. Y. (2014). Kurumsal Siber Güvenliğe Yönelik Tehditler Ve Mücadele Yöntemleri: Eylem Planı Örneği [Gazi Üniversite]. In *Journal of Visual Languages & Computing* (Vol. 11, Issue 3). [https://www.m-culture.go.th/mculture\\_th/download/king9/Glossary\\_about\\_HM\\_King\\_Bhumibol\\_Aduiyadej's\\_Funeral.pdf](https://www.m-culture.go.th/mculture_th/download/king9/Glossary_about_HM_King_Bhumibol_Aduiyadej's_Funeral.pdf)



# Bitlis, Muş ve Van İlleri Lahana (*Brassica oleraceae* L.) Ekim Alanlarındaki Zararlı ve Faydalı Böcek Türlerinin Tespiti, Önemli Türlerin Popülasyon Değişimi

Mustafa Ölmez<sup>1</sup>, Erdal Sertkaya<sup>2</sup>, Musa Büyük<sup>3</sup>, İsmail Alaserhat<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> Kayısı Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7146-4476), [esertkaya01@gmail.com](mailto:esertkaya01@gmail.com)

<sup>2</sup> Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9956-943X), [mustafaolmez1@gmail.com](mailto:mustafaolmez1@gmail.com)

<sup>3</sup> Dicle Üniversitesi, Diyarbakır Tarım Meslek Yüksekokulu, Diyarbakır, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2477-1155), [buyukm@hotmail.com](mailto:buyukm@hotmail.com)

<sup>4\*</sup> Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6929-0179), [i\\_alaserhat36@hotmail.com](mailto:i_alaserhat36@hotmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 23 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 12 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.986284)

**ATIF/REFERENCE:** Ölmez, M., Sertkaya, E., Büyük, M. & Alaserhat, İ. (2021), Bitlis, Muş ve Van İlleri Lahana (*Brassica oleraceae* L.) Ekim Alanlarındaki Zararlı ve Faydalı Böcek Türleri, Önemli Türlerin Popülasyon Değişimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 256-267.

## Öz

Bu çalışma lahana (*Brassica oleraceae* L.) alanlarında parazitoit, predatör ve zararlı böcek türlerinin tespiti, bu türlerden ana zararlı ve parazitoitin popülasyon gelişiminin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Çalışmalar 2017 yılında Bitlis Ahlat, Adilcevaz, Muş Merkez ve Korkut, Van Erciş ilçelerindeki lahana alanlarında türlerin belirlenmesi, 2018-2019 yılları arasında ise Bitlis Adilcevaz ve Ahlat ilçelerinde *Pieris brassicae* (L.) (Lepidoptera: Pieridae) ve parazitoiti *Cotesia glomerata* L. (Hymenoptera: Braconidae)'nın popülasyon takibi şeklinde yürütülmüştür. *Pieris brassicae*'nin ergin takibinde atrap metodu, larva popülasyonu takibinde ise gözle kontrol metodu kullanılmıştır. Larva parazitoiti *C. glomerata*'nın popülasyon takibinde ise yalnızca atrap metodu kullanılmıştır. Yapılan sürveyler sonucunda 4 takıma bağlı 12 familyadan 21 zararlı tür belirlenmiştir. Bunlardan Lepidoptera takımına ait *Pieris rapae* L., *Pieris brassicae* (Pieridae) (Lahana kelebeği), *Hellula undalis* (Fabricius) (Pyralidae) (Lahana göbekturdu), *Plutella xylostella* L., (Yponomeutidae) (Lahana yaprak güvesi), *Spodoptera littoralis* (Bois.) (Noctuidae) (Pamuk yaprakurdu) ve Hemiptera takımına ait *Aleyrodes proletella* L. (Aleyrodidae), (Lahana beyazsineği), başlıca önemli zararlı türler olarak tespit edilmiştir. Ayrıca 1 takıma ait 2 familyada 8 parazitoit ve 5 takıma ait 8 familyada 12 predatör olmak üzere 20 faydalı tür tespit edilmiştir. Parazitoitlerden *C. glomerata* (Hymenoptera: Braconidae) ve *Hyposoter ebeninus* Grav. (Hymenoptera: Ichneumonidae), predatörlerden ise *Polistes gallicus* (L.) (Hymenoptera: Vespidae) en fazla sayıda tespit edilmiştir. *Pieris brassicae*'nin çalışmanın yapıldığı yıllarda ve lokasyonlarda *C. glomerata* ile aynı dönemlerde görülmeye başlandığı, popülasyonunun yüksek olduğu aylarda parazitoitin yoğunluğunun da yükseldiği belirlenmiştir. Yıllar itibarı ile değişimle birlikte *P. brassicae*'nin nisanın III. haftasından ekimin III. haftasına kadar olan sürede doğada larvalarının bulunduğu ve larvaların 17 Ağustos 2018'de en yüksek yoğunluğa (10 adet larva/bitki) ulaştığı saptanmıştır. Larva parazitoiti, *C. glomerata* erginlerinin ise haziran ayının ikinci haftası ile ağustos ayının sonuna kadar doğada bulunduğu ve en yüksek yoğunluğa (40-39 birey/50 atrap) 2018 yılında ulaştığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Lahana, Zararlı türler, Popülasyon değişimi, *Pieris brassicae*, *Cotesia glomerata*, Parazitoit, Predatör, Bitlis, Muş, Van.

## Determination of Harmful and Beneficial Insect Species and Population Development of Important Species in Cabbage (*Brassica oleraceae* L.) Cultivation Areas of Bitlis, Muş and Van Provinces

### Abstract

This study was conducted to determine parasitoid, predator and pest insect species in cabbage areas. It was also conducted to determine the population development of the main pest species and parasitoids of these species. The studies were carried out in 2017 in Ahlat and Adilcevaz districts of Bitlis, Muş Center and Korkut district, Erciş district of Van province to determine the pest and beneficial species in the cabbage areas. Population monitoring of *Pieris brassicae* and parasitoid *Cotesia glomerata* was performed in Ahlat and Adilcevaz districts of Bitlis between 2018-2019. Sweep net method was used for the follow-up of adult individuals of *P. brassicae* and visual control method was used for monitoring the larval population. In the follow-up of the population of the larval parasitoid *Cotesia glomerata*, only the sweep net method was used. In the surveys, 21 pest species were identified in 4 order and 12

\* Sorumlu Yazar: [i\\_alaserhat36@hotmail.com](mailto:i_alaserhat36@hotmail.com)

families, of these species, *Pieris rapae* L., *P. brassicae* (Lepidoptera: Pieridae) (cabbage butterfly), *Hellula undalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Pyralidae) (cabbage coreworm), *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) (cabbage leaf moth), *Aleyrodes proletella* L. (Hemiptera: Aleyrodidae), (cabbage white fly), *Spodoptera littoralis* (Bois.) (Lepidoptera: Noctuidae) (Cotton leafworm) were seen as the major important pest species. In addition, 8 parasitoids from 2 families belonging to 1 order were identified and 12 predator beneficial insect species from 8 families of 5 orders were identified. *Cotesia glomerata* (Hymenoptera: Braconidae) and *Hyposoter ebeninus* Grav. (Hymenoptera: Ichneumonidae) parasitoid insects were found in the highest number, while *Polistes gallicus* (L.) (Hymenoptera: Vespidae) predator insects were the most common. In the year and locations of the study, *P. brassicae* began to be seen at the same time with *C. glomerata*. It was determined that the density of parasitoid also increased in the months when population was high. Although it changed over the years, it was determined that the larvae of *P. brassicae* were found in nature between the third week of April and the third week of October, and the larvae reached the highest density (10 larvae / plant) on August 17, 2018. In addition, it was determined that the adults of *C. glomerata* were found in nature between the second week of June and at the end of August, and the adults reached the highest density (40-39 individuals/50 sweep net) in 2018.

**Keywords:** Cabbage, Pest species, Population development, *Pieris brassicae*, *Cotesia glomerata*, Parasitoid, Predator, Bitlis, Muş, Van.

## 1. Giriş

Yaprağı yenen ve bir kış sebzesi olan beyaz lahanaya bitkisi besin değeri çok yüksek olan bir sebzedir. İçerisinde bol miktarda potasyum, sodyum olup mide ve bağırsakların iç yüzeyini korumakta, buralardaki yaraların iyileşmesini sağlamaktadır. Sindirimi kolay olan lahananın ortasındaki beyaz ve gevrek yapraklarının çiğ olarak yenmesi çok faydalı olup kanı temizleme, bol alyuvar yapımını sağlayarak kansızlığı giderme özellikleri vardır. Ayrıca bolca taze lahanaya yemek ses kısıklığına iyi geldiği gibi zayıflama kürü olarak da kullanılmaktadır (Anonim, 2009).

Lahana ülkemizde yoğun bir şekilde yetiştirilen ve severek tüketilen bir sebzedir. Yabani türlerine Kuzey Denizi, Batı İrlanda, Fransa, İspanya ve İtalya kıyılarında, Doğu Asya'da rastlanmaktadır (Anonim, 2016). Çok eski zamanlardan beri tanınan ve yenilen bir sebzedir.

Dünyada 2.513.707 ha alanda lahanaya ekimi yapılmakta ve 71.451.138 ton üretim sağlanmaktadır. Beyaz lahanaya olarak ta bilinen baş lahananın yetiştiriciliği yurdumuzun her tarafında yapılmaktadır. Ülkemizde lahanaya grubu sebzelerin toplam ekim alanı yaklaşık 26.503 hektar, üretim miktarı ise ortalama 778,887 ton dur (Anonymous, 2019). Bitlis, Muş ve Van illerinde sırasıyla 410, 2.989 ve 1.485 da alanda lahanaya ekilmekte 664, 10.507 ve 5.199 ton üretim gerçekleştirilmektedir (Anonim, 2018).

Tarımsal araştırmalarda en önemli amaç, kültür bitkilerinin yetiştiriciliğini ve birim alandaki verimlerini artırarak, dünyada ve ülkemizde artmakta olan nüfusun beslenme ihtiyaçlarının karşılanabilmesidir. Bütün kültür bitkilerinde olduğu gibi, lahanagillerde de verimin artırılmasında, gübreleme, sulama ve diğer tarım teknikleri ile birlikte, hastalık ve zararlıların belirlenmesi ve bunlarla mücadelenin doğru ve usulüne uygun olarak yapılması büyük öneme sahiptir (Tozlu ve ark., 2002). Tarımsal üretimde ve insan beslenmesinde önemli bir yere sahip olan sebze türleri, yetiştirilme dönemlerinde birçok zararlının etkisine maruz kalmakta ve ekonomik kayba uğramaktadır. Sebzelerde zarar yapan böcek grupları ekonomik öneme sahip birçok türü içerir. Çoğu türler bitkinin toprak üstü kısmı ile beslenir ve yoğun olarak beslendiklerinde bitkide ve üründe önemli zararlara neden olurlar (Coaker, 1992). Ülkemizde lahanaya alanlarındaki zararlı türlerin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda; lahanaya kelebeklerinden, *Pieris brassicae* (L.), *Pieris rapae* (L.), *Pieris napi* (L.), *Plusia gamma* (L.), *Agrotis* spp., *Plutella xylostella* (L.) (lahana yaprak güvesi),

*Spodoptera littoralis* (Bois.) (pamuk yaprakkurdu), *Helicoverpa armigera* (Hübner) (yeşilkurt) ve *Delia* spp. (lahana sinekleri) gibi birçok zararlının olduğu ve ekonomik anlamda zarara neden oldukları belirtilmiştir (Doğanlar ve ark., 1981; Doğanlar, 1982; Atak ve Atak, 1984; Uzun, 1987; Avcı ve Özbek, 1990; Haykır ve ark., 1990; Kansu, 1990; Ulusoy ve ark., 1995; Tozlu ve ark., 1998; Özder ve Kılınçer, 1999; Akdağcık, 2010).

Ülkemizin farklı bölgelerinde özellikle lahanaya ve az da olsa karnabahar zararlıları ile ilgili çalışmalar yürütülmüş, ancak bu konuda bölgemizde yapılmış olan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bölgenin Tarım ve Orman İl Müdürlüğü ve lahanaya üreticilerinden son zamanlarda bitki koruma sorunlarıyla ilgili çok sayıda şikâyetlere binaen bu çalışma yürütülmüştür. Bu çalışma sonucunda Bitlis, Muş ve Van illeri lahanaya ekim alanlarındaki zararlı ve faydalı böcek türleri, önemli zararlı ve faydalı türün popülasyon değişimi belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışmanın materyalini Bitlis, Muş ve Van illeri lahanaya alanlarından toplanan faydalı ve zararlı böcek türleri, böcek aspiratörü, kurutma kâğıtları, kese kâğıdı, öldürme şişesi, etil asetat, preparat iğnesi, atrap, stereo mikroskop, lup ve değişik ebatlarda kültür kapları ve diğer laboratuvar malzemeleri oluşturmuştur.

### 2.2. Metot

#### 2.2.1. Arazi Çalışmaları

##### 2.2.1.1. Zararlı ve faydalı türlerin belirlenmesi

Sürvey çalışmaları lahanaya üretiminin yoğun olarak yapıldığı Bitlis ili Ahlat ve Adilcevaş ilçeleri, Muş ili Merkez, Korkut ilçesi ve Van ili Erciş ilçesinde lahanaya üretim alanlarında 2017 yılında yapılmış, faydalı ve zararlı türler ile ana zararlı tür ve parazitoiti belirlenmiştir. Çalışmalarda gözle kontrol, atrap ve kültüre alma yöntemleri kullanılmıştır. Atrapla yakalanan türlerin lahananın zararlılığına karar verebilmek amacı ile bu türler literatürle kıyaslanmış ve kıyaslama sonucunda karar verilmiştir. Daha sonra Bitlis ili Adilcevaş ve Ahlat ilçelerinde 2018-2019 yıllarında belirlenmiş olan ana zararlı tür ve parazitoitinin ilk larva, ilk ergin ve ilk parazitoit erginleri görülme zamanları ve popülasyonlarının yükselme ve düşüş tarihleri ortaya çıkarılmıştır. Adilcevaş ilçesinde seçilen lahanaya alanı 8 da, Ahlat'ta ise 7 da alanda 25'er lahanaya bitkisi tesadüfi olarak seçilmiş ve takibi yapılmıştır.



### 2.2.1.1.1. Gözle kontrol metodu

Bitlis ili Ahlat ve Adilcevaz ilçeleri, Muş ili Merkez, Korkut ilçesi ve Van ili Erciş ilçesinde seçilen ikişer tarlada zararlı ve faydalı türleri belirlemek amacıyla arazi çıkışları ve örneklemeler bitkilerin tarlaya dikimleriyle birlikte başlamış ve hasada kadar devam etmiştir. Sürvey yapılan tarlalara haftada bir gidilmiş, her bir tarlaya girildiğinde köşegenler doğrultusunda ilerleyerek, tarla büyüklüğüne göre tahminen belirlenen sayıda bitki tesadüfi olarak seçilmiş (Kaya ve Kornoşor, 2008), seçilen bitkilerin her tarafı kontrol edilmiştir. Örnekleme yapılırken lahana bitkileri tek tek kontrol edilmiş, elde edilen zararlıların ve doğal düşmanların erginleri öldürme şişesine alınmıştır (Özder ve Kılınçer, 1999). Böcekler ağız aspiratörü ve tüm bitki incelenmesi yöntemleri ile toplanmıştır.

### 2.2.1.1.2. Atrap metodu

Zararlı ergin böcek türlerinin belirlenmesinde atrap kullanılmıştır. Bu amaçla çalışmanın yapılacağı her tarlanın içerisinden başlamak üzere köşegenler doğrultusunda 15-20 adımda bir rastgele ve bitkileri süpürecek şekilde temas ettirmek suretiyle 10 atrap olmak üzere toplam 50 atrap sallanmıştır (Anonim, 2011) (**Şekil 1a**). Atrapta yakalanan zararlılar öldürme şişelerinde veya şeffaf polietilen poşetlere boşaltılarak, kurutma kâğıdı üzerine damlatılmış birkaç damla etil asetatla öldürülmüş ve toplama bilgilerini içeren etiket ile birlikte buz kabına konularak laboratuvara getirilmiştir. Örneklerin takım ve familya düzeyinde tasnifleri yapılmış, uygun şekilde etiketlenmeleri yapıldıktan sonra ilgili taksonomiste teşhis için gönderilmiştir.

### 2.2.1.1.3. Kültüre alma metodu

Sürvey alanlarında tespit edilmiş zararlı ve faydalılara ait larva ve pupa dönemindeki tüm bireyler alınmış, larva ve pupalardan da örneklemeler yapılarak zararlı tür/türler takip edilmiştir. Larvalar beslediği konukçusu ile birlikte alınarak ve laboratuvara getirilmiş ve kültüre alınmıştır. İklim odasında  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de %  $60 \pm 10$  orantılı nem 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık koşullarda kültüre alınarak (**Şekil 1b**) ergin olmaları sağlanmış ve günlük olarak kontrol edilmiştir. Larvaların beslenme işlemi devam ettiği sürece kültür kapları içerisindeki besinler gerektiğinde yenileri ile değiştirilmiştir (Kaya ve Kornoşor, 2008). Kültürden elde edilen zararlı ve faydalı türlerin ergin bireyleri toplama bilgilerini içeren etiket ile birlikte teşhise uygun şekilde hazırlanarak familyalarına göre ayrılmış ve konu uzmanlarına gönderilmiştir.

### 2.2.1.2. Yaygın ve zararlı olarak belirlenen tür ve parazitoitin popülasyon gelişimi

Zararlı türlerin belirlenmesi çalışmaları yapıldıktan sonra, 2017 yılı çalışmaları sonunda, sürveylerin yapıldığı lokasyonların tamamında yayılış gösterdiği tespit edilen, popülasyon ve zarar oranının yüksek olduğu gözlemlenen tür önemli tür olarak saptanmıştır. Tespit edilen türün ve doğal düşmanının popülasyon takibi Bitlis ili Adilcevaz ve Ahlat ilçelerinde birer lokasyonda ilaçlanmamış iki üretici alanında yürütülmüştür. Seçilmiş olan bu tarlalarda yaygın ve zararlı tür olarak belirlenen Lahana kelebeği, *Pieris brassicae*'nin "larva ve ergin popülasyon takibi" Kaya ve Kornoşor (2008)'a göre gerçekleştirilmiştir.

*Pieris brassicae*'nin ergin popülasyon takibinde atrap metodu kullanılmıştır. Çalışmanın yürütüldüğü alanlarda 50 atrap sallanmıştır (Kaya ve Kornoşor, 2008). Burada 50 atrapta yakalanan *P. brassicae* erginleri şeffaf polietilen poşetlere boşaltılarak, kurutma kâğıdı üzerine damlatılmış birkaç damla etil asetatla öldürülmüş ve etiket bilgileri ile birlikte buz kutularına konularak laboratuvara getirilmiş ve sayımları yapılmıştır.

*Pieris brassicae*'nin larva popülasyon takibi çalışmaları Bitlis ilinde iki lahana tarlasında yürütülmüştür. Her tarlada tesadüfi olarak seçilen 25 lahana bitkisinde *P. brassicae*'nin larvaları sayılarak kaydedilmiştir (Kaya ve Kornoşor, 2008).

Larva parazitoiti, *C. glomerata*'nın popülasyon takibinde yalnızca atrap metodu kullanılmıştır. Çalışmanın yürütüldüğü lokasyonda yer alan tarlalarda, tarlanın kenarından içeri girmek suretiyle köşegenler doğrultusunda rastgele ve bitkileri süpürecek şekilde temas ettirmek suretiyle üst üste 50 atrap sallanmıştır. Atrapta haftalık olarak yakalanan *C. glomerata* erginleri şeffaf polietilen poşetlere boşaltılarak, kurutma kâğıdı üzerine damlatılmış birkaç damla etil asetatla öldürülmüş ve etiket bilgileri ile birlikte buz kutularına konularak laboratuvara getirilmiş ve sayımları yapılmıştır.

### 2.2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Zararlı larva ve nimfleri konukçu bitki materyali ile birlikte lahana alanlarından alınmış, etiket bilgileri ile kese kâğıtları ve polietilen torbalar içinde buz kutularına konularak laboratuvara getirilmiştir. Daha sonra yumuşak vücutlu böcekler alkol içerisine alınarak preparatları yapılmak üzere hazırlanmış ve teşhis için preparatları yapılmış ve konu uzmanlarına gönderilmiştir.





Şekil 1. Arazi ve laboratuvar çalışmaları; atrap yöntemi (a), kültüre alma metodu (b)

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Zararlı ve Faydalı Türler

Çalışma sonuçlarına göre Bitlis (Ahlat, Adilcevaz), Muş (Merkez, Korkut) ve Van (Erciş) illeri lahanada 4 takım 12 familyada 21 zararlı; 1 takım 2 familyada 8 parazitoit ve 5 takım 8 familyada 12 predatör tür tespit edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1 incelendiğinde 2017 yılında sürveylerin yapıldığı lokasyonların tamamında yayılış gösteren, popülasyon ve zarar oranının yüksek olduğu gözlemlenen Lahana kelebeği, *Pieris brassicae*'nin yaygın ve önemli tür; önemli faydalı türün ise *P. brassicae*'nin larva parazitoiti *Cotesia glomerata* olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü tarlalarda *P. brassicae*, *Plutella xylostella*, *Hellula undalis*, *Aleyrodes proletella*, *Brevicoryne brassicae*, *Eurydema ornatum* ve *Spodoptera littoralis*'in lahanada doğrudan zarar yaptığı belirlenmiştir.

Zararlı türlerden *P. brassicae* larvalarının lahanada yaprakları ile beslendiği, larvalarının başlangıçta yaprakların damar aralarını yediği, daha sonra bitkinin tüm yapraklarını yiyerek sadece kalın damarlarını bıraktıkları, beslenme artıklarını ve dışkılarını lahanada yapraklarının arasında bırakarak lahananın yenilmez hale gelmesine neden oldukları saptanmıştır (Şekil 2a). Lahana yaprakgüvesi, *P. xylostella* larvalarının yaprakları alttan üste kadar yiyerek beslenmesi sonucu, bu kısımların üst

tarafında sadece ince bir zar bıraktığı, yapraklara üstten bakıldığında, yenik kısımlar gümüşü beyaz bir renkte ve irili ufaklı olmak üzere çok delikli bir görünüş aldığı belirlenmiştir (Şekil 2b). Lahana göbekturdu, *H. undalis* larvalarının önce bulunduğu yerde, daha sonra gövde ve yaprak sapı içine girerek beslendiği, beslenme zararının olduğu bitkilerin gelişmediği, yan dallar vererek çatallandığı, baş bağlayamadığı, ancak küçük, pazar değeri düşük lahanalar oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 2c). Lahana beyazsineği, *A. proletella* ergin ve larvalarının bitki özsuğunu emmesi sonucu yapraklarda sarımsı lekeler meydana getirdiği; yaprakbiti, *Brevicoryne brassicae*'nin beslenmeleri sonucu yapraklarda kıvrılmalara, renk değişikliklerine ve bitkilerde gelişmenin durmasına, yoğun popülasyonlarda yapraklarda kurumaya neden oldukları; Lahana kokulu böceği, *E. ornatum*'un yapraklarda bitki özsuğunu emerek zararlı olduğu, beslenme sonucu yapraklarda kıvrılmalar, emgi yerlerinde beyazımsı sarı lekeler, lekelerin birleşerek kurumalara ve dökülmelere neden olduğu ve ayrıca beslendiği yerlerde pis koku bıraktığı; Pamuk yaprakkurdu, *S. littoralis*'in ise larvalarının lahananın yaprak, çiçek ve meyvelerinde beslendiği ve meyveleri delerek iç kısmına girdiği, yaprakları yiyerek elek haline getirdiği gözlenmiştir.

Tablo 1. Bitlis (Ahlat, Adilcevaz), Muş (Merkez, Korkut) ve Van (Erciş) illeri lahanada belirlenen zararlı ve faydalı türler ve yayılış alanları

Zararlı Türler			Yayılışları			
Takım	Familiya	Tür	Bitlis	Muş	Van	
Hemiptera	Aleyrodidae	<i>Aleyrodes proletella</i> Linnaeus*	+	+	+	
		<i>Empoasca decipiens</i> Paoli*	+	+	+	
	Cicadellidae	<i>Phlepsius intricatus</i> (Herrich-Schäffer)	+	+	+	
		<i>Macrosteles quadripunctulatus</i> (Kirschbaum)	+	+	+	
		<i>Psammotettix striatus</i> Linnaeus	+	+	+	
		<i>Anaceratagalla ribauti</i> (Ossiannilsson)	+	+	+	
		<i>Circulifer haematoceps</i> (Mulsant and Rey)	+	+	+	
		<i>Macrosteles viridigriseus</i> (Edwards)	+	+	+	
		Pentatomidae	<i>Eurydema ornatum</i> (Linnaeus)*	+	+	+
			<i>Eurydema ventralis</i> Kolenati*	+	+	+
	Aphididae	<i>Brevicoryne brassicae</i> Linnaeus*	+	+	+	
	Lygaeidae	<i>Nysius</i> spp.	+	+	-	
		<i>Nysius cymoides</i> (Spinola)	+	-	+	
	Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Phyllotreta</i> spp.	+	+	-
Lymntriidae		<i>Sphragis (Euproctis) melania</i> (Staudinger)	+	+	+	
Lepitoptera	Pieridae	<i>Pieris brassicae</i> (Linnaeus)*	+	+	+	
		<i>Pieris rapae</i> (Linnaeus)*	+	+	+	
	Plutellidae	<i>Hellula undalis</i> Fabricius*	+	+	+	
	Crambidae	<i>Plutella xylostella</i> (Linnaeus)*	+	+	+	
	Noctuidae	<i>Spodoptera littoralis</i> (Boisduval)*	-	+	+	
Orthoptera	Acrididae	<i>Chorthippus parallelus</i> (Zetterstedt)	+	+	-	
Faydalı Türler (Parazitoitler)			Yayılışları			
Takım	Familiya	Tür	Bitlis	Muş	Van	
Hymenoptera	Braconidae	<i>Meteorus rubens</i> Nees	+	+	+	
		<i>Bracon lividus</i> Telenga	+	+	+	
		<i>Cotesia glomerata</i> (Linnaeus)	+	-	+	
		<i>Hecabalodes radialis</i> Tobias	+	-	-	
		<i>Diaeratiella rapae</i> (M'Intosh)	+	+	+	
		( <i>Brevicoryne brassicae</i> 'nin parazitoiti)	+	+	+	
	Ichneumonidae	<i>Diadegma</i> sp.	+	+	+	
		<i>Diadegma eucerophagum</i> Horstman	+	+	+	
		<i>Hyposoter ebeninus</i> (Gravenhorst)	+	+	+	
Faydalı Türler (Predatörler)			Yayılışları			
Takım	Familiya	Tür	Bitlis	Muş	Van	
Neuroptera	Chrysopidae	<i>Chrysoperla carnea</i> Stephens	+	+	+	
Coleoptera	Coccinellidae	<i>Hippodamia variegata</i> (Goeze)	+	+	+	
	Oxycarenidae	<i>Oxycarenus pallens</i> (Herrich-Schaeffer)	+	+	+	
Hemiptera	Miridae	<i>Campylomma diversicornis</i> (Reuter)	+	+	+	
	Nabidae	<i>Nabis</i> sp.	+	+	+	
Diptera	Syrphidae	<i>Metasyrphus corolae</i> Fabricius	+	+	+	
		<i>Episyrphus balteatus</i> De Geer	+	-	+	
		<i>Melanostoma mellinum</i> (Linnaeus)	+	+	+	
		<i>Sphaerophoria rueppellii</i> (Wiedemann)	+	+	+	
		<i>Sphaerophoria scripta</i> (Linnaeus)	+	+	+	
		<i>Eristalis arbustorum</i> (Linnaeus)	+	+	+	
Hymenoptera	Vespeida	<i>Polistes gallicus</i> (Linnaeus) ( <i>Pieris brassicae</i> 'nin predatörleri)	+	+	+	

\*lahanada zararlı olarak belirlenen türler



Şekil 2. Bazı zararlıların lahanadaki zararları; *Pieris brassicae* (Linnaeus)'nin ergin, larvaları ve lahanadaki zararı (a), *Plutella xylostella*'nin ergin, larvaları ve lahanadaki zararı (b), *Hellula undalis*'in ergin, larvaları ve lahanadaki zararı (c)

Özder ve Kılınçer (1999), Tekirdağ ili lahanada alanlarında 1995-1996 yıllarında yapmış oldukları çalışmada yaygın tür olarak her iki yılda da *P. brassicae*'yi tespit etmişlerdir. Kaya ve Kornoşor (2008), Hatay ilinde kışlık sebze alanlarında bazı bölgelerde *P. brassicae*'nin bulaşıklık oranı bakımından *S. littoralis* ve *H. armigera*'dan sonra üçüncü sırada yer aldığını ve *P. xylostella*'nin çalışmadaki diğer Lepidoptera türleri içerisinde daha düşük düzeyde olduğunu ifade etmişlerdir.

Tablo 1 incelendiğinde 1 takım 2 familyada 8 tür parazitoit ile 5 takım 8 familyada 12 tür predatör böcek türü olmak üzere toplam 20 faydalı tür tespit edilmiştir. Tespiti yapılan bu faydalı türlerden sayı ve yoğunluk olarak *Cotesia glomerata*, *Hyposoter ebeninus* ve *Compsilura concinnata* önemli faydalı böcek türler olarak öne çıkmıştır. *Pieris brassicae*'nin bütün larva dönemlerine yumurtasını bırakıp, gregar endoparazitoit olarak larva döneminde gelişmesini tamamlayan *C. glomeratus*'un biyolojik mücadelede kullanılmak üzere İngiltere ve Almanya'dan A.B.D'ne götürüldüğü, *P. rapae*, *P. brassicae* ve diğer birçok Lepidoptera türünün yaygın bir larva parazitoiti olan bu tür Avrupa kıtası ve yakın çevresinin yerli bir türü olarak kabul edildiği belirtilmektedir (Clausen, 1962). Atak ve ark. (1984), Uzun (1987), Ege bölgesinde lahanada ve karnabahar zararlısı *P. brassicae*'nin larva parazitoitleri olarak *A. glomeratus* (Hym.: Braconidae) ve *Hypooter ebeninus* (Hym.: Ichneumonidae)'u saptamışlardır. Ayrıca İzmir ilinde yaygın olan zararlı tür *P. brassicae* larvalarının %0,63-45,56 arasında parazitlendiğini belirtmişlerdir. Soydanbay (1976) İzmir ili lahanada alanlarında zararlı *P. brassicae* larvalarının, Kılınçer

(1982) Ankara ili lahanada alanlarında zararlı *P. rapae* larvalarının, Atak ve Atak (1984) Marmara Bölgesi lahanada ve karnabahar alanlarında zararlı *P. brassicae* larvalarının *H. ebeninus* tarafından parazitlendiğini bildirmişlerdir. Uzun (1987), *H. ebeninus* türünün İzmir ilinde toplanan *P. brassicae* larvalarını parazitlediğini ve yaygın olduğunu bildirmiştir. Özder ve Kılınçer (1999), Tekirdağ ili lahanada alanlarında 1995-1996 yıllarında yapmış oldukları çalışmada yaygın tür olarak her iki yılda da *P. brassicae*'yi tespit etmişler, çalışma alanlarında *P. brassicae*'nin parazitoiti *Apanteles glomeratus*'un yoğun olarak bulunduğunu saptamışlardır. Abbas (2004) ise 1996-1997 yıllarında Mısır'da yaptığı çalışmada lahanada ekim alanlarında *P. rapae*'nin tek larva parazitoiti olarak *H. ebeninus*'un bulunduğunu bildirmiştir.

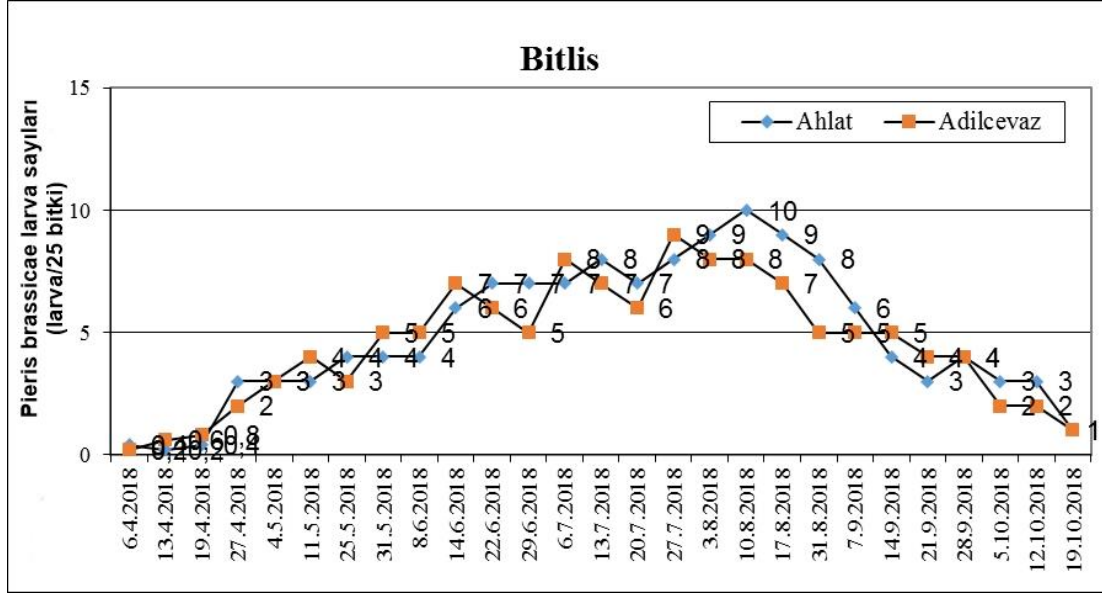
### 3.2. Önemli Zararlı ve Parazitoit Türün Popülasyon Gelişimi

Birinci yıl (2017) çalışmaları sonucunda her 3 ilin lahanada alanlarında, önemli zararlı türün *P. brassicae* (Lepidoptera: Pieridae) olduğu belirlenmiştir. Zararlı tür ve parazitoitin popülasyon takibi 2018 ve 2019 tarihleri arasında Bitlis ili Ahlat ve Adilcevaz ilçelerindeki lokasyonlarda bulunan iki lahanada alanında gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2.1. Lahanada keleş, *Pieris brassicae*'nin Larva Popülasyon Gelişimi

Bitlis ili Ahlat ve Adilcevaz ilçeleri lahanada üretim alanlarında Lahanada keleş, *P. brassicae*'nin larva popülasyon takibi Şekil 3 ve 4'de verilmiştir.

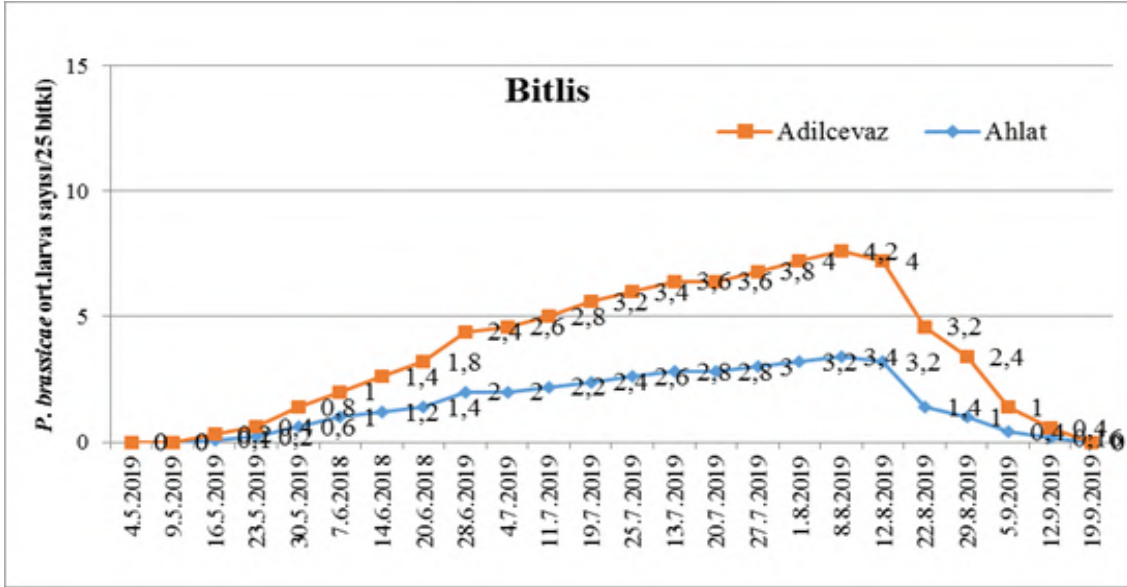




Şekil 3. Bitlis ili Ahlat ve Adilcevaz ilçeleri lahana alanlarında 2018 yılında belirlenen lahana kelebeği, *Pieris brassicae* ortalama larva popülasyon yoğunluğu

Bitlis ili Ahlat ilçesinde 6.4.2018 tarihinde yapılan sürveylerde larva görülmezken *P. brassicae*'nin ilk larva çıkışı 13.04.2018'de (0,2 adet larva/bitki) belirlenmiş ve son larva görülme tarihi 19.10.2018 olmuştur. Zararlı, sırasıyla 14.6.2018'de ortalama 5 adet larva/bitki ve 20.7.2018'de 8 adet larva/bitki ve 17.8.2018'de 10 adet larva/bitki sayılarıyla üç tepe noktası oluşturmuş ve 21.9.2018'den sonra larva sayıları düşmeye başlamıştır. Adilcevaz ilçesinde 6.4.2018 tarihinde

yapılan sürveylerde larva görülmezken *P. brassicae*'nin ilk larva çıkışı 13.04.2018'de (0,4 adet larva/bitki) belirlenmiş ve son larva görülme tarihi 19.10.2018 olmuştur. Zararlı, sırasıyla 22.6.2018'de 6 adet larva/bitki ve 27.7.2018'de 9 adet larva/bitki ve 7.9.2018'de 5 adet larva/bitki sayılarıyla üç tepe noktası oluşturmuş ve 14.9.2018 tarihinden sonra larva sayıları düşmeye başlamıştır.



Şekil 4. Bitlis ili Ahlat ve Adilcevaz ilçeleri lahana alanlarında 2019 yılında belirlenen lahana kelebeği, *Pieris brassicae* ortalama larva popülasyon yoğunluğu

Bitlis ili Ahlat ilçesinde 04.05.2019, 09.05.2019 ve 16.05.2019 tarihlerinde yapılan sürveylerde larva görülmezken *P. brassicae*'nin ilk larva çıkışı 23.05.2019'da (0,2 adet larva/bitki) belirlenmiş ve son larva görülme tarihi 19.10.2019 olmuştur. Zararlı, sırasıyla 13.7.2019'da ortalama 2,6 adet larva/bitki ve 12.8.2019'da 3,4 adet larva/bitki sayılarıyla iki tepe noktası oluşturmuş, 22.8.2019 tarihinden sonra da larva sayıları düşmeye başlamıştır. Adilcevaz ilçesinde 04.05.2019, 09.05.2019 ve 16.05.2019 tarihlerinde yapılan sürveylerde larva

görülmezken *P. brassicae*'nin ilk larva çıkışı 23.05.2019 tarihinde (0,1 adet larva/bitki) belirlenmiş ve son larva 19.10.2019'da görülmüştür. Zararlı, sırasıyla 11.07.2019'da 2,6 adet larva/bitki, 27.07.2019'da 3,6 adet larva/bitki ve 12.08.2019'da 4,2 adet larva/bitki sayılarıyla üç tepe noktası oluşturmuş, 22.08.2019 tarihinden sonra da larva sayıları düşmeye başlamıştır.

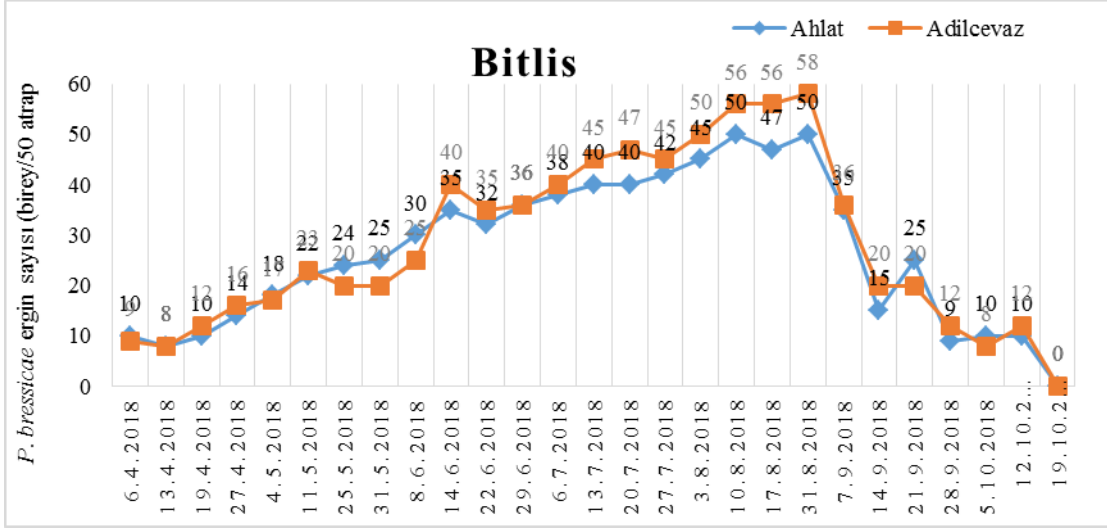
*Pieris brassicae*'nin larva popülasyon yoğunluğu incelendiğinde 2018 yılında ilk larva nisan ayının ortasında



görülürken, 2019 yılında mayıs ayının üçüncü haftasında görülmüştür. Zararının larva popülasyon yoğunluğu 2018 ve 2019 yıllarında inişli-çıkışlı bir seyir izlemiş, eylül ayının ikinci haftasından sonra düşüş eğilimine geçmiş ve ekim ayının ayının üçüncü haftasına kadar doğada larva popülasyon yoğunluğu devam etmiştir.

### 3.2.2. Lahana kelebeği, *Pieris brassicae*'nin Ergin Popülasyon Gelişimi

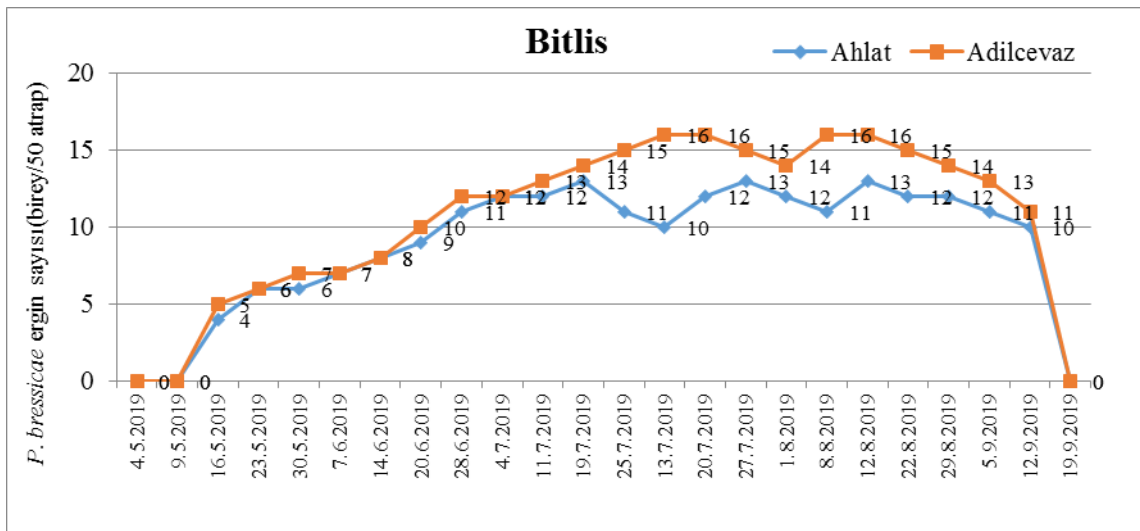
Bitlis ili Ahlat ve Adilcevaz ilçeleri lahana üretim alanlarında Lahana kelebeği, *P. brassicae*'nin ergin popülasyon takibi 2018 ve 2019 yıllarında yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 5 ve 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Bitlis ili Ahlat ve Adilcevaz ilçeleri lahana alanlarında 2018 yılında belirlenen lahana kelebeği, *Pieris brassicae* ergin popülasyon yoğunluğu

Bitlis ili Ahlat ilçesinde *P. brassicae*'nin ilk erginlerinin görülmesi 06.04.2018 tarihinde bitki fenolojisi altı yapraklı ve bitki boyu 15-20 cm olduğu dönemde 10 adet/50 atrap olarak belirlenmiştir. *Pieris brassicae* ergin bireyleri 50 atrapta 14.06.2018, 20.07.2018 ve 31.08.2018 tarihlerinde sırasıyla 40, 47 ve 58 birey ile üç tepe noktası oluşturmuş, 07.09.2018 den itibaren azalmaya başlamıştır. Ergin popülasyon yoğunluğu 19.10.2018 tarihinde en alt seviyeye düşmüştür. Adilcevaz ilçesinde 06.04.2018 tarihinde ilk erginler 9 birey/50 atrap olarak tespit edilmiştir. Daha sonra 14.06-10.08 ve 31.8.2018

tarihlerinde sırasıyla 35, 50 ve 50 birey ile üç tepe noktası oluşturmuş, bu tarihten sonra azalmaya başlamış 19.10.2018 de en alt seviyeye düşmüştür.



Şekil 6. Bitlis ili Ahlat ve Adilcevaz ilçeleri lahana alanlarında 2019 yılında belirlenen lahana kelebeği, *Pieris brassicae* ergin popülasyon yoğunluğu

Bitlis ili Ahlat ilçesinde lahana fideleri 04.05.2019 tarihinde tarlaya ekilmiştir. Bu tarihten sonra *P. brassicae*'nin ilk

erginlerinin görülmesi 16.05.2019 tarihinde bitki fenolojisi altı yapraklı ve bitki boyu 15-20 cm olduğu dönemde 4 adet/50 atrap

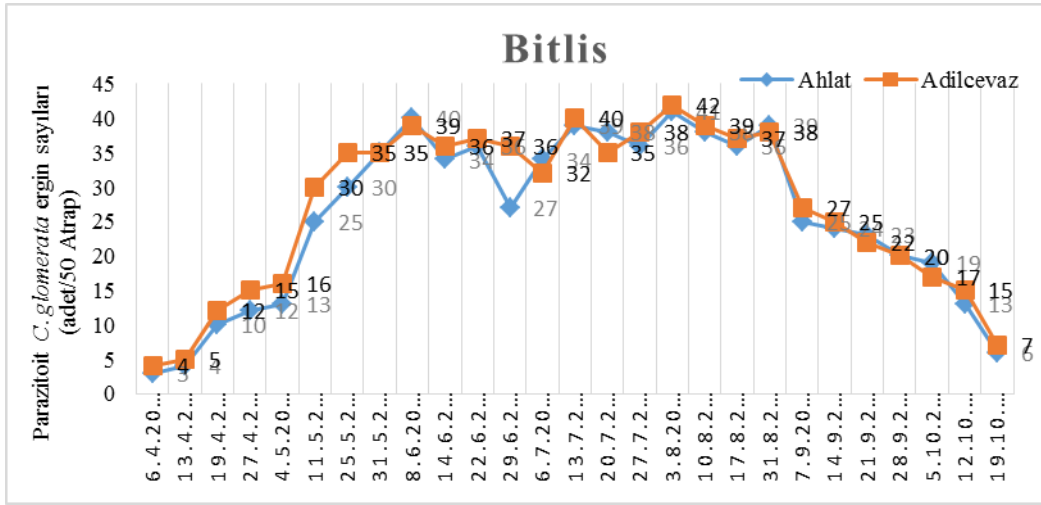
olarak belirlenmiştir. *Pieris brassicae* ergin bireyleri 50 atrapta 19.07-01.08 ve 05.09.2019 tarihlerinde sırasıyla 12, 13 ve 12 birey ile üç tepe noktası oluşturmuş ve 05.09.2019 den itibaren azalmaya başlamıştır. Yoğunluk 19.10.2018 tarihinde en alt seviyeye düşmüştür. Adilceviz ilçesinde *P. brassicae*'nin ilk ergin görüldüğü tarih yine 16.05.2019 bitki fenolojisi sekiz yapraklı ve bitki boyu 15-20 cm yapraklı olduğu dönemde 5 adet/50 atrap olarak saptanmıştır. *Pieris brassicae* ergin bireyleri 50 atrapta 04.07-20.07 ve 22.8.2019 tarihlerinde sırasıyla 12, 16 ve 16 birey ile üç tepe noktası oluşturmuş ve 12.09.2019'dan itibaren azalmaya başlamıştır. Yoğunluk hasatın yapıldığı 19.10.2019 tarihinde en alt seviyeye düşmüştür.

*Pieris brassicae*'nin ergin popülasyon yoğunluğu incelendiğinde 2018 yılında ilk ergin nisan ayının ilk haftasında görülürken, 2019 yılında nisan ayının üçüncü haftasında

görülmüştür. Zararının ergin popülasyon yoğunluğu 2018 ve 2019 yıllarında inişli-çıkışlı bir seyir izlemiş, 2018 yılında ekim ayının üçüncü haftasından, 2019 yılında ise eylül ayının ikinci haftasından sonra düşüş eğilimine geçmiş ve 2018 yılında ekim ayının üçüncü haftasına, 2019 yılında ise eylül ayının üçüncü haftasına kadar doğada ergin popülasyon yoğunluğu devam etmiştir.

### 3.2.3. Larva Parazitoiti *Cotesia glomerata*'nın Ergin Popülasyon Gelişimi

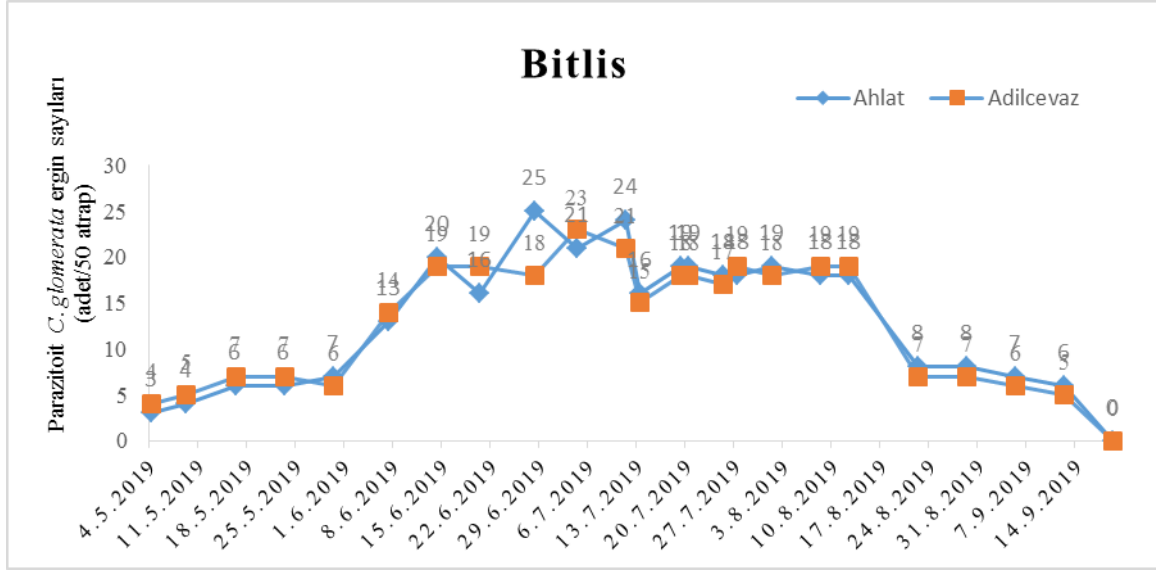
Bitlis ili Ahlat ve Adilceviz ilçeleri lahana üretim alanlarında 2018 ve 2019 yıllarına ait Lahana keleşi, *P. brassicae*'nin larva parazitoiti *C. glomerata*'nın sezon boyu ergin popülasyon takibi atrap kullanılarak belirlenmiş ve elde edilen veriler Şekil 7 ve 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Bitlis ili Ahlat ve Adilceviz ilçeleri lahana alanlarında 2018 yılında *Pieris brassicae*'nin larva parazitoiti *Cotesia glomerata*'nin popülasyon yoğunluğu

Bitlis ili Ahlat ilçesinde *C. glomerata*'nın ilk ergini 06.04.2018 tarihinde görmüş ve bitki boyu 15-20 cm olduğu dönemde 3 adet ergin/50 atrap olarak sayılmıştır. En fazla yoğunluk sırasıyla 40 ve 41 adet ergin /50 atrap ile 08.06.2018 ve 03.08.2018 tarihlerinde göbek bağlama döneminde görülmüştür. Parazitoitin popülasyon yoğunluğu 31.08.2018'den sonra azalmaya başlamış ve 19.10.2018'de 6 adet ergin/50 atrap ile en alt seviyeye düşmüştür. Adilceviz ilçesinde *C. glomerata*'nın ilk erginleri 06.04.2018 tarihinde görmüş ve bitki fenolojisi sekiz yapraklı ve bitki boyu 15-20 cm olduğu dönemde 4 adet/50 atrap olarak sayılmıştır. En fazla yoğunluk sırasıyla 39, 40 ve 42 adet ergin/50 atrap ile 08.06.2018, 13.07.2018 ve 03.08.2018 tarihlerinde göbek bağlama döneminde görülmüştür. Parazitoit yoğunluğu 07.09.2018'den sonra azalmaya başlamış ve 19.10.2018'de 7 adet ergin/50 atrap ile en alt seviyeye düşmüştür.

Bitlis ili Ahlat ilçesinde *C. glomerata* ilk ergininin görülmesi 04.05.2019 tarihinde bitki fenolojisi altı yapraklı ve bitki boyu 15-20 cm olduğu dönemde 3 adet/50 atrap olarak sayılmıştır. Bu tarihten sonra parazitoit erginleri en yüksek 28.06-20.07 ve 12.08.2019 tarihlerinde sırasıyla 25, 19 ve 18 adet ergin/50 atrap olarak sayılmıştır. Ergin parazitoit yoğunluğu 22.08.2019'dan sonra azalmaya başlamış ve eylül ayının üçüncü haftasında en alt düzeye düşmüştür. Adilceviz ilçesinde *C. glomerata*'nın ilk erginleri 16.05.2019 tarihinde bitki fenolojisi sekiz yapraklı ve bitki boyu 15-20 cm olduğu dönemde 4 adet/50 atrap olarak görülmüştür. Daha sonra parazitoit erginleri 04.07 - 27.07 ve 12.08.2019 tarihlerinde sırasıyla 23, 19 ve 19 adet ergin/50 atrap olarak en yüksek oranda sayılmıştır. Ergin parazitoit yoğunluğu 22.8.2019'dan sonra azalmaya başlamış ve eylül ayının üçüncü haftasında en alt düzeye düşmüştür.



Şekil 8. Bitlis ili Ahlat ve Adilcevaz ilçeleri lahanaya alanlarında 2019 yılında *Pieris brassicae*'nin larva parazitoiti *Cotesia glomerata*'nin popülasyon yoğunluğu

Çalışma sonucunda Bitlis ili Ahlat ilçesinde *C. glomerata*'nın 08.06.2018 ve 03.08.2018 tarihinde göbek bağlama döneminde en fazla yoğunluğu sırasıyla 40 ve 41 adet ergin/50 atrap, Adilcevaz ilçesinde 08.06.2018, 13.7.2018 ve 03.08.2018 tarihinde en fazla yoğunluğu sırasıyla 39, 40 ve 42 adet ergin/50 atrap belirlenmiştir. 2019 yılında ise Bitlis ili Ahlat ilçesinde en yüksek ergin sayısı 28.06 -20.07.2019 ve 12.08.2019 tarihlerinde sırasıyla 25, 19 ve 18 adet ergin/50 atrap olarak sayılmış, buna karşın Adilcevaz'da ilçesinde ise 04.07 -27.07.2019 ve 12.08.2019 tarihlerinde sırasıyla 23, 19 ve 19 adet ergin/50 atrap olarak sayılmıştır. Uzun (1987), Ege bölgesinde lahanaya ve karnabahar zararlısı *P. brassicae*'nin larva parazitoitleri olarak *A.*

*glomeratus* L. (Hym.: Braconidae), *Hypooter ebeninus* Grav. (Hym.: Ichneumonidae) saptanmış ve çalışma esnasında toplanan larvalarda İzmir ilinde yaygın olan zararlı tür *P. brassicae* larvalarının %0,63-45,56 arasında parazitlendiğini de tespit etmiştir. Atak ve Atak (1984), Marmara Bölgesi lahanaya ekim alanlarında yapılan bir çalışmada ise 50 adet Lahanaya keleşleri larvasında ortalama 28,4 (13-51) adet *A. glomeratus* parazitoitinin bulunduğu ifade etmişlerdir.

Lahanaya keleşleri, *P. brassicae* ve larva parazitoiti *C. glomerata*'nın yıl içerisindeki ortalama haftalık popülasyon seyri Tablo 2'de değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Bitlis ili Ahlat ve Adilcevaz ilçelerinde lahanaya ekim alanlarında *Pieris brassicae* ve parazitoiti *Cotesia glomerata*'nin ortalama haftalık popülasyon gelişimi

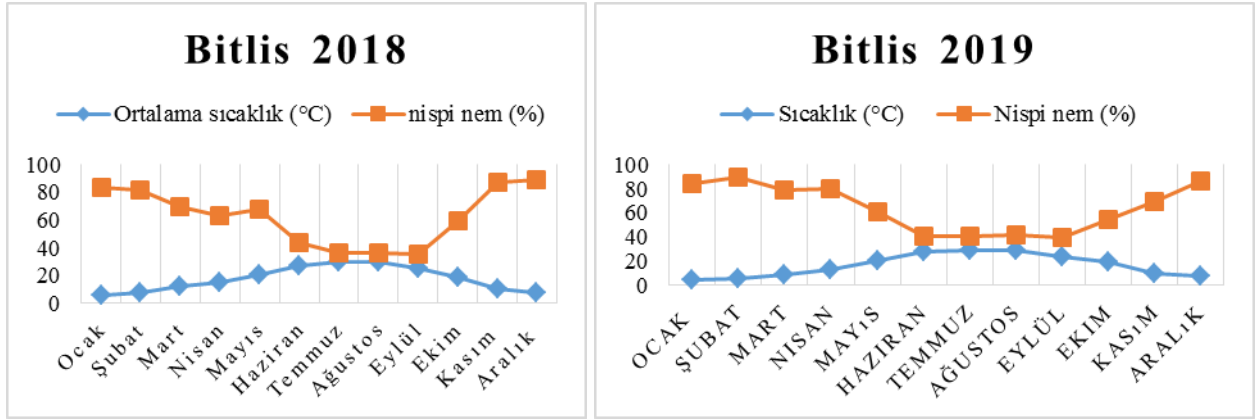
	Bitlis-Ahlat			Bitlis-Adilcevaz		
	<i>Pieris brassicae</i> (larva)	<i>Pieris brassicae</i> (ergin)	<i>Cotesia glomerata</i> (ergin)	<i>Pieris brassicae</i> (larva)	<i>Pieris brassicae</i> (ergin)	<i>Cotesia glomerata</i> (ergin)
2018	4,8	26,5	25,8	4,3	28,3	28,1
2019	1,6	16,7	15,2	2,1	19,4	15

Çalışma sonucunda *P. brassicae* ve parazitoiti *C. glomerata*'nın Tablo 2'deki popülasyon yoğunluğu ortalama değerlerine bakıldığında 2018 yılında Ahlat'ta ortalama 4,8 larva/bitki, 26,5 ergin/50 atrap *P. brassicae* ve 25,8 ergin/50 atrap *C. glomerata*; Adilcevaz'da ise 4,3 larva/bitki, 28,3 ergin/50 atrap *P. brassicae* ve 28,1 ergin/50 atrap larva parazitoiti *C. glomerata* ortalama değerleri belirlenmiştir. 2019 yılında ise Ahlat'ta ortalama 1,6 larva/bitki, 16,7 ergin/50

atrap *P. brassicae* ve 15,2 ergin/50 atrap *C. glomerata*; Adilcevaz'da ise 2,1 larva/bitki, 19,4 ergin/50 atrap *P. brassicae* ve 15 ergin/50 atrap *C. glomerata* ortalama değerleri belirlenmiştir. 2018 yılındaki *P. brassicae* larva, ergin popülasyonu ile *P. brassicae* parazitoiti olan *C. glomerata*'nin ergin popülasyonu 2019 yılının neredeyse iki katı yoğunlukta olduğu saptanmıştır. Özder ve Kılınçer (1999), Tekirdağ ilinde lahanaya alanlarında yaygın zararlı tür olarak *P. brassicae*'yi tespit

etmişlerdir. Çalışma alanlarında *P. brassicae*'nin parazitoiti *A. glomeratus*'un 1995 yılında bulunma oranları %59,57-64,29 ve 65,38 olarak, 1996 yılında ise %63,83-64 ve 69,09 olarak belirlemişlerdir.

Popülasyon sayımlarının gerçekleştirildiği alanlardaki yıllara göre iklim verileri Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Bitlis ili 2018 ve 2019 yılları iklim verileri [ortalama sıcaklık (°C) ve nispi nem (%)]

İklim değerlerinin verildiği Şekil 9 incelendiğinde Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında sıcaklık artarken nispi nem değerleri düştüğü görülmektedir. Sıcaklık ve nem değerlerinde meydana gelen bu değişikliklerin olduğu aylarda *P. brassicae* ve larva parazitoiti *C. glomerata*'nın da yoğunluk oluşturduğu tespit edilmiştir.

Lepidoptera larvalarının fitofag böcekler arasında ilk sırada geldiği, bunlar arasında en önemli türlerin *Pieris brassicae* ve *P. rapae* olduğu bu zararlıyı baskı altında tutan pek çok yararlıının bulunduğu yapılan çalışmalar sonucu görülmüştür. Bu çalışmanın yürütüldüğü 2017 yılında yapılan surveyler sonucunda zararlı ve faydalı türler arasında belirlenen *Pieris brassicae* (Lepidoptera: Pieridae) ve doğal düşman *Cotesia glomerata* (Hymenoptera: Braconidae)'nin popülasyon gelişimi çalışmaları Bitlis ili Ahlat ve Adilcevaz ilçelerinde seçilen lokasyonlarda yürütülmüştür. Buna göre; *P. brassicae*'nin ergin, larva popülasyonu ve parazitoiti *C. glomerata*'nın popülasyon yoğunluğu değerleri ile bunların ortalama yoğunluklarına bakıldığında 2018 yılında ki popülasyonun 2019 yılındaki değerlerin neredeyse iki katı olduğu görülmektedir. Söz konusu bu farkın iklim ve sıcaklığa bağlı değişkenlik gösterdiği söylenebilir. 2018 yılındaki popülasyon değerlerinin 2019 yılına göre çok yüksek olmasının nedeninin; 2018 yılında özellikle bölgede kar yağışının mevsim normallerinin çok altında olması, hava sıcaklıklarının ise normalin üzerinde olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4. Sonuç

Sonuç olarak çalışmanın yürütüldüğü 2017-2019 yılları arasında yapılan bu çalışma ile Bitlis ili başta olmak üzere benzer iklim koşullarına sahip Muş ve Van ili lahanada ekim alanlarında *P. brassicae*'nin önemli bir zararlı olduğu ve uygun iklim koşullarında yüksek popülasyon gösterebileceği ve zarar oranını artırabileceği, bunun yanında parazitoiti *C. glomerata*'nın yine değişen iklim koşullarına göre yoğunluk

gösterdiği aynı şekilde bu yoğunluğun *P. brassicae* popülasyonuna paralel şekilde değiştiği görülmüştür. *Pieris brassicae*'nin çalışmanın yapıldığı yıllarda ve lokasyonlarda *C. glomerata* ile aynı dönemlerde görülmeye başlandığı, zararlı popülasyonunun yüksek olduğu aylarda parazitoit yoğunluğunun da yükseldiği tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda tespit edilen larva parazitoiti *C. glomerata*'nın belirlenen zararlıları kimyasal mücadele yapılmadığı durumlarda EZE'inde (Ekonomik Zarar Eşiği) tutup tutamayacağının da ileride yapılacak araştırmalarla belirlenmesi gerekmektedir. Parazitoitin kitle üretimi gerçekleştirilebilirse lahanadaki pestisit kullanımının en düşük seviyeye indirilmesi mümkün kılınacaktır.

Bu çalışma, bölgede lahanada üretiminin yoğun olarak yapıldığı Bitlis, Muş ve Van illerinde son yıllarda lahanada alanlarında zararlı, faydalı türleri belirlemenin yanı sıra bu alanlarda mevcut tür kompleksi ve ana zararlı türün ortaya çıkarılması açısından önem arz etmektedir. Ayrıca önemli zararlı tür ve bu türün parazitoitinin popülasyon gelişiminin yapılmasıyla zararlıya karşı mücadeleye başlama zamanının tespitine yönelik verilerin elde edilmesini sağlamıştır. İlk larva, son larva, ergin görülmeye ve popülasyonlarının yükseldiği tepeler, yoğunluk oluşturdukları zamanların belirlenmesi ile Entegre Mücadele ilkeleri çerçevesinde mücadelenin uygulanması konusunda üretici ve teknik elemanlar için bir yeni yol gösterici rehber olacağı düşünülmektedir.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü tarafından (TAGEM BS-12/08-01/01-19) desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TAGEM'e ve Diyarbakır Ziraat Mücadele Araştırma Enstitüsüne teşekkür ederiz. Arazi çalışmaları esnasında sürekli bizlere yardımlarını esirgemeyen Dr. Mehmet DUMAN'a (Diyarbakır Ziraat Mücadele Araştırma Enstitüsü) teşekkür ederiz. Ayrıca çalışmada elde edilen, Cicadellidae familyası teşhisleri Prof. Dr. Ünal ZEYBEKOĞLU



(Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, Samsun), Orthoptera takımı Prof. Dr. Ali SATAR (Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji bölümü, Diyarbakır), Hemiptera takımı Prof. Dr. Meral FENT (Trakya Üniversitesi, Fen fakültesi, Biyoloji bölümü, Edirne), Lepidoptera takımı Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR (Ankara Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü), Braconidae familyası teşhisleri Prof. Dr. Ahmet BEYARSLAN (Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Bitlis), Ichneumonidae familyası Prof. Dr. Saliha ÇORUH (Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Erzurum) tarafından yapılmış olup, tüm hocalarımıza teşekkürlerimizi sunarız.

## Kaynakça

Abbas, M.S.T., (2004). On the parasitoid complex of *Pieris rapae* larvae on cabbage plantation. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 82 (4), 1551-1560.

Akdağcık, Z., (2010). Çukurova Bölgesi Cruciferae Üretim Alanlarında Zararlı Olan Lepidopter Türlerin Popülasyon Gelişmeleri, Predatör ve Parazitoidlerinin Belirlenmesi ve *Pieris Brassicae* (L.)'nin Bazı Biyolojik Özellikleri ile Mücadelesi Üzerine Araştırmalar. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (yayınlanmamış), Adana, 94 s.

Anonim, (2009). İnternet kayıtları. <http://www.bitkiforum.com/> (Erişim Tarihi: 28.06.2009).

Anonim, (2011). Pamuk Entegre Mücadele Teknik Talimatı. [https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/009\\_pamuk.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/009_pamuk.pdf) (Erişim Tarihi: 12.12.2019)

Anonim, (2016). Lahana Yetiştiriciliği. <http://defteriniz.com/lahana-sebze-yetistirme/21263/> (Erişim Tarihi: 12.12.2021).

Anonim, (2018). TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1001](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001) (Erişim Tarihi: 13.11.2019)

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1001](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001) (Erişim Tarihi: 13.11.2019)

Anonymous, (2019). FAO (Food Agriculture Organization) (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>) (Erişim Tarihi: 13.11.2019)

Atak, U., Atak, E.D., (1984). Lahana keleşi (*Pieris brassicae* L.)'nin biyoökojisi ve mikrobiyal ilaçlarla savaşımı üzerinde çalışmalar, *Bitki Koruma Bülteni*, 24 (4), 173-199.

Atakan, E., Akdağcık, Z., Ölçülü, M., (2004). Adana ilinde kolzada zararlı ve faydalı böcek faunası ve bazı zararlı türlerin doğal parazitlenme oranlarının araştırılması. Türkiye I. Bitki Koruma Kongresi Bildirileri (8-10 Eylül 2004) 32s., Samsun.

Avcı, Ü., Özbek, H., (1990). Erzurum'da lahana zararlısı lepidopter türleri ve parazitoidleri üzerinde bir araştırma. Türkiye II. Biyolojik Mücadele Kongresi Bildirileri (26-29 Eylül 1990), 319-329s., Ankara.

Bayhan, E., Ölmez, S., Ulusoy, M.R., (2002). Doğu Akdeniz Bölgesi'nde 80 lahana (*Brassica oleraceae* L.) ve karnabahar (*Brassica oleraceae* var. *botrytis* L.)'da zararlı olan türler ile bunların predatör ve parazitoidleri. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17 (3), 85-92.

Coaker, T.H., (1992). Vegetable Crop Pests. (Ed: McKinlay, R.G.), MacMillan Academic Press, 406 pp.

Doğanlar, M., (1982). Hymenopter parasites of some lepidopterous pests in Eastern Anatolia. *Türkiye Bitki Koruma Dergisi*, 6 (4), 197-205.

Doğanlar, M., Özbek, H., Ecevit, O., Yüksel, H., (1981). Doğu Anadolu Bölgesi'nin bazı lepidopterleri. *Bitki Koruma Bülteni*, 21 (3), 155- 172.

Haykır, Ü., Has, A., Tamer, A., Kedici, R., (1990). Orta Anadolu Bölgesi'nde lahanalarda bulunan zararlı ve faydalı faunanın yoğunluklarının ve yayılış alanlarının saptanması üzerine ön çalışmalar. T.C. Tarım ve Köyüşleri Bakanlığı, Tar. Araş. Gen. Müd. Bit. Kor. Araş. Dai. Baş. Zirai Mücadele Araştırma Yıllığı, 24-25: 31-32.

Kansu, A., (1990). Genel Entomoloji. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 1176, Ders Kitabı, Ankara, 334s.

Kaya, K., Kornoşor, S., (2008). Hatay ilinde önemli kışlık sebze alanlarında bulunan zararlı Lepidoptera türleri, parazitoidleri ve zararlı türlerden önemli olanların popülasyon dalgalanmaları. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 32 (3), 195-209.

Kılınçer, N., (1982). Ankara ilinde Lahana Keleşi [*Pieris rapae* (L.) (Lep.:Pieridae)]'nin parazit kompleksi üzerinde araştırmalar. *Bitki Koruma Bülteni*, 22 (3), 107-119.

Özder, N., Kılınçer, N., (1999). Tekirdağ ilinde lahanalarda zararlı-doğal düşman kompleksi üzerinde çalışmalar. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 23 (1), 27-37.

Soydanbay, M., (1976). Türkiye'de bitki zararlısı bazı böceklerin doğal düşman listesi. Kısım I. *Bitki Koruma Bülteni*, 16 (1), 32-46.

Tozlu, G., Hayat, R., Güçlü, Ş., Gültekin, L., (1998). Erzurum ilinde lahanada zararlı olan böcek türleri. II. Sebze Tarımı Sempozyumu Bildirileri (28-30 Eylül 1998), Tokat.

Tozlu, G., Gültekin, L., Hayat, R., Güçlü, Ş., (2002). Erzurum'da lahanada zarar yapan böcek türlerinin doğal düşmanları üzerinde çalışmalar. Türkiye V. Biyolojik Mücadele Kongresi Bildirileri (04-07 Eylül 2002), 227-235s., Erzurum.

Ulusoy, M.R., Atlıhan, R., Uygun, N., (1995). Doğu Akdeniz Bölgesi sebze alanlarında Homoptera, Coleoptera, Lepidoptera ve Diptera takımlarına bağlı zararlı türler ve doğal düşmanları. Türkiye II. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi Bildirileri (3-6 Ekim, 1995), Cilt II, 442-446s., Adana.

Uzun, S., (1987). İzmir ilinde lahana ve karnabaharlarda zarar yapan Lahana keleşi (*Pieris brassicae* (L.) (Lepidoptera: Pieridae)'nin parazitleri. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 11 (4), 237-245.



# Assessment of the Quality and Reliability of Information on Nutrition for Patients with Diabetes on YouTube

Nazlı Batar<sup>1\*</sup>, Gizem Aşkın<sup>2</sup>, Elif Beyza İpek<sup>3</sup>, Sezen Sevdin<sup>4</sup>, Rümeysa Özçalkap<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Istanbul Kültür University, Health Sciences Faculty, Department of Nutrition and Dietetics, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9527-5709), [n.batar@iku.edu.tr](mailto:n.batar@iku.edu.tr)

<sup>2</sup>Istanbul Kültür University, Health Sciences Faculty, Department of Nutrition and Dietetics, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6209-1361), [gizemaskin@hotmail.com](mailto:gizemaskin@hotmail.com)

<sup>3</sup>Istanbul Kültür University, Health Sciences Faculty, Department of Nutrition and Dietetics, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1291-5844), [ipekli1@gmail.com](mailto:ipekli1@gmail.com)

<sup>4</sup>Fenerbahçe University, Health Sciences Faculty, Department of Nutrition and Dietetics, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5961-8054), [sezen.sevdin@fbu.edu.tr](mailto:sezen.sevdin@fbu.edu.tr)

<sup>5</sup>Istanbul Kültür University, Health Sciences Faculty, Department of Nutrition and Dietetics, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8006-0411), [r.ozcalkap@iku.edu.tr](mailto:r.ozcalkap@iku.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 8 Eylül 2021 ve Kabul Tarihi 16 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.992770)

**ATIF/REFERENCE:** Batar, N., Aşkın, G., İpek, EB., Sevdin, S., & Özçalkap, R. (2021). Assessment of the Quality and Reliability of Information on Nutrition for Patients with Diabetes on YouTube. *European Journal of Science and Technology*, (31), 268-274.

## Abstract

**Background/Objectives:** The purpose of this study was to evaluate the accuracy, and the quality of the information of the videos about diabetes and nutrition on YouTube. **Subjects/Methods:** Using the keywords "diabetic diet" and "nutrition of diabetic patient", a search was conducted on YouTube, and the first 100 videos for each keyword, 200 videos in total were analyzed. The popularity of the videos was calculated using the video power index (VPI) and view rates. Among these 200 videos, 32 were non-English videos, 36 were nonnutritional videos, and 38 were duplicate videos. The quality and the accuracy of the information was evaluated using the DISCERN score, the Journal of the American Medical Association (JAMA) score, the Global Quality Score (GQS), the usefulness score, and a novel diabetic diet score (DDS). SPSS 20 was used for statistical analysis. **Results:** Physician, dietitian, commercial, and patient-sourced videos differed significantly in DISCERN, GQS, and usefulness scores ( $p < 0.05$ ). In the DISCERN, GQS, and usefulness scores, physician sourced videos had statistically higher scores than commercial-sourced videos (.0125). A significant and positive correlation was found between view ratio and video power index. Besides, there was a statistically significant and positive correlation between the number of views and DISCERN, JAMA, GQS, usefulness score and DDS, while a positive correlation was found between number of likes and video strength indexes ( $p < 0.001$ ). **Conclusions:** It has been observed that videos on nutrition for diabetic patients on YouTube are of low quality in terms of quality and reliability.

**Keywords:** YouTube, Diabetic Diet, Nutrition of Diabetic Patient, Patient Education, Information, Quality Video

## Diyabetli Hastalara Yönelik YouTube'da Yayınlanan Beslenme Bilgi Paylaşımlarının Kalite ve Güvenirliğinin İncelenmesi

### Öz

**Arka Plan/Amaç:** Bu çalışmanın amacı, YouTube'daki diyabet ve beslenme ile ilgili videoların doğruluğunu ve kalitesini değerlendirmektir. **Denekler/Yöntemler:** "Diyabetik diyet" ve "şeker hastasının beslenmesi" anahtar kelimeleri kullanılarak YouTube'da arama yapılmış ve her bir anahtar kelime için ilk 100 video olmak üzere toplam 200 video analiz edilmiştir. Videoların popülaritesi, video güç indeksi (VPI) ve görüntüleme oranları kullanılarak hesaplandı. Bu 200 videonun 32'si İngilizce olmayan videolar, 36'sı beslenme dışı videolar ve 38'i yinelenen videolardı. Bilgilerin kalitesi ve doğruluğu DISCERN puanı, Journal of the American Medical Association (JAMA) puanı, Global Kalite Puanı (GQS), kullanışlılık puanı ve yeni bir diyabetik diyet puanı (DDS) kullanılarak değerlendirildi. İstatistiksel analiz için SPSS 20 kullanıldı. **Sonuçlar:** Hekim, diyetisyen, ticari ve hasta kaynaklı videolar DISCERN, GQS ve kullanışlılık puanlarında anlamlı farklılık gösterdi ( $p < 0.05$ ). DISCERN, GQS ve kullanışlılık puanlarında, hekim kaynaklı videolar, ticari kaynaklı videolardan istatistiksel olarak daha yüksek puanlara sahipti (.0125). Görüntüleme oranı ile video güç indeksi arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki bulundu. Ayrıca izlenme sayısı ile DISCERN, JAMA, GQS, kullanışlılık puanı ve DDS arasında istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir ilişki bulunurken, beğeni sayısı ile video güç indeksleri arasında pozitif bir ilişki bulundu ( $p < 0.001$ ). **Sonuç:** YouTube'da diyabet hastaları için beslenme ile ilgili videoların kalite ve güvenilirlik açısından düşük kalitede olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** YouTube, Diyabetik Diyet, Diyabetik Hastanın Beslenmesi, Hasta Eğitimi, Bilgilendirme, Kaliteli Video

\* Corresponding Author: [n.batar@iku.edu.tr](mailto:n.batar@iku.edu.tr)

## 1. Introduction

The internet, used for information transfer, entertainment, shopping, etc., is accepted as a tool that can quickly enable people to communicate with each other (Gimenez-Perez et al. 2020). Currently, the internet is used in nearly every home and area of the world (Fox and Duggan, 2012). In addition, health information is one of the most sought-after topics on the internet, and the use of social media is an increasingly popular platform for delivering health information to the public (Fox and Duggan, 2012). Many studies have been conducted on internet usage around the world. As a result of these studies, it has been determined that the internet has many disadvantages as well as numerous advantages (Fox and Duggan, 2012; Ferhatoglu et al. 2019).

YouTube™ (<https://www.youtube.com>) is one of the most frequently used online platforms worldwide. Almost every minute, a new video is uploaded to YouTube that can exceed 2 billion views per day (Smith et al. 2019). According to a study by the Health Information National Trends Survey (HINTS), it has been determined that compared to the past, individuals more frequently prefer the internet now to access information about their health status (Madathil et al. 2015). According to recent surveys, it has been determined that 8 out of every 10 internet users access health information from online platforms (Atkinson 2009; Rutten et al. 2006). Information sharing has both positive and negative consequences, due to ever-increasing technology opportunities. Although YouTube, which is increasingly frequently used by healthcare professionals and students, is useful as a visual resource, it can also facilitate inaccurate and insufficient information transfer (Erdem and Sisik 2018; Erdem and Karaca 2018; Celik et al. 2020). Misleading videos may cause patients to make incorrect decisions and have negative effects on the patient-physician relationship (Pant et al. 2015).

Diabetes, which is accepted as one of the most important health problems in the world today, is increasing rapidly in Turkey as in the rest of the world (Wild et al. 2004). Due to this increase, patients and physicians have used sources shared on many platforms, including YouTube, to access information faster (Coşansu 2015). These platforms provide everyone, including patients with diabetes (and many other diseases), the opportunity to access information more easily. In this study, we aimed to evaluate the accuracy, and the quality of the information of the videos about diabetes and nutrition on YouTube (Abedin et al. 2015).

Diabetes is an important health problem. Medical nutrition therapy is an important component in the management of diabetes. Dietitians who are experts in the field of diabetes and nutrition play a key role in the control of diabetes. The duty of a diabetes dietician is to determine and evaluate the individual's food consumption, food portion, nutritional behaviors and to prepare the appropriate nutrition program (Özer 2019).

## 2. Material and Methods

A YouTube search was carried out on October 23, 2020, using the keywords "diabetic diet" and "nutrition of diabetic patient." Since the aim was to evaluate the diet-related videos, the two keywords of the article searched in Youtube were chosen by using the MeSH tool. All videos were ranked by YouTube's relevance criteria. Assuming that users would not look beyond the fifth page

of the search results, the first 100 videos were used for each keyword (Erdem and Sisik 2018; Ferhatoglu et al. 2019; Celik et al. 2020). Among these 200 videos, 32 were non-English videos, 36 were nonnutritional videos, and 38 were duplicate videos. The analysis of the videos was performed by three researchers (NB, GA, and EBİ). The researchers watched and evaluated each video independently. The quality of the information of the videos was evaluated using the DISCERN score, the Journal of the American Medical Association (JAMA) score, the Global Quality Score (GQS), the usefulness score, and the diabetic diet score (DDS).

DISCERN is a questionnaire with 3 parts and 16 questions in total. A higher questionnaire score represents better video quality (Charnock et al. 1999). In the questionnaire, the first 8 questions are about reliability and the next seven are about treatment. The final question of the questionnaire is a general evaluation question. In the DISCERN scoring system, 63-75 points represent excellent quality, 51-62 points represent good quality, 39-50 points represent average quality, 27-38 points represent low quality, and 16-26 points represent very low quality.

In the JAMA scoring system, the quality of the videos is evaluated according to 4 criteria (authorship, citation, explanation, and currency). In the JAMA evaluation, 1 point shows insufficient information, 2-3 points show partially sufficient information, and 4 points show completely sufficient information (Silberg et al. 1997).

The GQS is a questionnaire prepared by Bernard et al. and makes educational evaluations of a video. The GQS consists of 5 points: 1 point indicates low quality, 2 points indicates low but limited information quality, 3 points indicates optimum quality, 4 points indicates good quality, and 5 points indicates excellent quality (Bernard et al. 2007). The quality of the videos was assessed using the Global Quality Scale (GQS) which is a 5-point scale of 1–5 points and has been used for quality assessments in similar studies (Tolu et al. 2018; Bernard 2007). Video flow, usefulness, and quality can be evaluated using the GQS, with scores applied of 4–5 points indicating high quality, 3 points indicating moderate quality, and 1–2 points indicating low quality. The following scoring system was used in this study: 1 point: The video is of poor quality, poor flow, lacking most information, and therefore not useful for patients. 2 points: The video is generally of poor quality, and although some information is given, it is of limited use for patients. 3 points: The video is of moderate quality, and some important information is sufficiently discussed. In these videos, accurate and incorrect information are presented in a balanced manner. However, high-quality information is provided together with misleading information. 4 points: The video is of good quality and good flow. The video is useful for patients, covering the most relevant information and presenting accurate information to a large extent, but it may include minor deficiencies. 5 points: The video is of excellent quality and excellent flow and is very useful for patients. These videos include completely accurate information (Bernard 2007).

In the usefulness score created by Lee et al. videos are scored according to their information content as follows: 7-10 points, very useful; 3-7 points, helpful; and 1-2 points, useless (Lee et al. 2014). In this survey, 5 criteria were used according to the content of the videos: symptoms of the disease, diabetes treatment, nutrition, lifestyle, and complications of the disease. The best quality is indicated by 3 points for each criterion.

There is no specific measure available for the evaluation of diabetic nutritional information. For this reason, a YouTube-based



diabetic diet score (DDS) system was designed. This score was developed by the researchers, informed by the American Diabetes Association (ADA) guidelines and Diabetes Canada Clinical Practice Guidelines (Han et al. 2020; Nutrition Therapy 2018).

Considering the diabetes guidelines, researchers determined 10 criteria that should be addressed in diabetic diet. A maximum of 10 points was awarded by giving 1 point to each of 10 criteria.

*Table 1. Diabetic Diet Score (DDS)*

Criteria	Points
Carbohydrate type and its effect on blood	Max 1 point
Simple sugar consumption	Max 1 point
Water consumption	Max 1 point
Consumption of carbonated beverages and alcohol	Max 1 point
Frequency of main meals and snacks	Max 1 point
Proper food selections at meals	Max 1 point
Balanced diet	Max 1 point
Dietary fiber consumption	Max 1 point
regular follow-up	Max 1 point
Physical activity	Max 1 point

Considering the diabetes guidelines, researchers determined 10 criteria that should be addressed in diabetic diet. A maximum of 10 points was awarded by giving 1 point to each of 10 criteria. The videos were grouped as excellent (7-10 points), average (4-6), and poor (1-3).

The videos were categorized based on their source(s): dietitian, physician, patient, or commercial. The video power index (VPI) and view rate were used to determine the popularity of a video. The VPI was calculated using the equation [like ratio × view ratio/100], as described by Erdem et al. the like ratio was calculated using the equation (like × 100/ [like + dislike]), and the view ratio was calculated using the equation [number of views/time since upload] (Erdem and Karaca 2018; Celik et al. 2020).

The quality and the accuracy of the information was evaluated using DISCERN, JAMA, GQS, usefulness score and DDS.

Videos which are publicly available on YouTube were assessed, and no human participants/animals were included. Therefore, Ethics Committee approval was not required for this study. Similar studies have also followed the same path (Bernard 2007; Nason et al. 2015; Esen et al. 2019). Since any patient and patient-related material is not used in this study, an IRB is not required. Also, an IRB was not required in previous studies on this subject (Erdem and Sisik 2018; Ferhatoglu et al. 2019; Celik et al. 2020).

*Statistical Analysis*

SPSS 20 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) was used for statistical analysis. The frequency, percentage, minimum-maximum values, mean, median, and standard deviation were used to describe DISCERN, GQS, JAMA, Usefulness, DDS, Time since upload (days), Run time (min), Views, Likes, Dislikes, Comments, View ratio, Like ratio, Video power index. The Shapiro-Wilk test was used to test the normal distribution suitability of all the data and within groups. It was observed that the data did not have a normal distribution within the groups or individually. For this reason, nonparametric statistical analysis was performed in the data analysis. The relationships between View ratio, Duration, Likes, VPI, DISCERN, JAMA, GQS, Usefulness and DDS were determined by the Spearman correlation, and comparisons between the DISCERN, JAMA, GQS, Usefulness, DDS, Video power index, View ratio scores regarding the video sources were performed using the Kruskal-

Wallis test. In case of a significant difference between groups, the Mann-Whitney U test was applied. The significance level was set at 0.05 for difference analysis and 0.01 and 0.05 for correlation analysis. Before group comparison, since there were four groups in the study, Bonferroni Correction was done. The significance level was accepted as .05 / 4= .0125 for group comparisons in the Mann-Whitney U test.

Since there are more than 2 raters, the Fleiss Kappa Coefficient was used to test inter-rater agreement. A coefficient of <0 means poor agreement, 0.0-0.20 means slight agreement, 0.21-0.40 means fair agreement, 0.41-0.60 means moderate agreement, 0.61-0.80 means substantial agreement, and 0.81-1.0 means almost perfect agreement (Landis, Koch, 1977). Fleiss Kappa Coefficient was calculated in Microsoft Excel program (Landis & Koch, 1977).

**3. Results and Discussion**

Ninety-four videos were evaluated within the scope of this study. Inter-rater agreement was evaluated with the Fleiss Kappa Coefficient. The coefficients for DISCERN, GQS, JAMA, USEFULNESS and DIABETIC SCORE were .996, .961, .992, 1.000 and 1.000, respectively. It appears that there is an almost perfect agreement for all variables.

The descriptive statistics are given in Table 2. According to the DISCERN score, 5.3% of the videos were excellent, 11.7% were good, 17.0% were of medium quality, 36.2% were poor, and 29.8% were very poor. When the GQS was used, it was determined that 7.4% were excellent. 22.4% were of good quality, 24.5% were average, 37.2% of limited quality and 8.5% of the videos were of bad quality. In JAMA scoring, it was observed that 16.0% were completely sufficient, 61.7% were partially sufficient, and 22.3% of the videos were insufficient. In the usefulness scoring system, 15.9% were categorized as very useful, 41.5% were categorized as useful and 42.6% of the videos were categorized as not useful. Finally, 18.1% were good, 55.3% were moderate and 26.6% of the videos were insufficient in the DDS system.



The contents of the videos were as follows: 45.7% nutrition education, 43.6% informative, 6.4% advertisements, and 4.3% patient experience. When the sources of the videos were examined, 41.5% were physician-sourced, 25.5% dietitian-sourced, 19.2% commercial-sourced, and 13.8% patient-sourced.

Comparisons between the scores within the scope of this study and the video sources are given in Table 3. Physician, dietitian, commercial, and patient-sourced videos differed significantly in DISCERN, GQS, and usefulness scores ( $p < 0.05$ ). Before group comparison, Bonferroni Correction was done.

Table 2. The descriptive statistics (n=94)

	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Median
DISCERN	35.41	13.99	16.00	76.00	30.50
GQS	2.83	1.10	1.00	5.00	3.00
JAMA	2.54	1.01	1.00	4.00	3.00
Usefulness	3.80	2.53	1.00	10.00	3.00
DDS	4.94	2.05	1.00	10.00	5.00
Time since upload (days)	1447.74	1011.42	84.00	4025.00	1316.00
Run time (min)	13.10	19.90	0.55	87.28	4.54
Views	255111.68	880401.40	4.00	6229683.00	12723.50
Likes	2920.82	11585.92	0.00	90000.00	120.00
Dislikes	225.22	892.11	0.00	7100.00	8.50
Comments	301.72	1465.15	0.00	13133.00	17.00
View ratio	185.56	577.53	0.00	3441.86	11.04
Like ratio	1791.48	16493.43	0.00	160000.00	94.74
VPI	1323.72	11171.51	0.00	108358.83	9.64

JAMA: the Journal of the American Medical Association Score  
GQS: the Global Quality Score

DDS: Diabetic Diet Score  
VPI: Video power index

Table 3. The comparison of the video sources and scores

Variable	Physician (n=39)	Dietitian (n=24)	Commercial (n=18)	Patient (n=13)	p
DISCERN	37 (16-76)	34 (22-55)	24 (16-46)	29 (21-54)	<b>0.006*</b>
JAMA	3 (1-4)	3 (1-4)	2 (1-4)	3 (1-3)	0.108
GQS	3 (1-5)	3 (1-5)	2 (1-4)	3 (2-4)	<b>0.02*</b>
Usefulness	4 (1-10)	3 (1-8)	2 (1-6)	3 (1-7)	<b>0.018*</b>
DDS	5 (1-10)	5.5 (3-10)	4.5 (2-7)	4 (1-8)	0.093
VPI	11.2 (0-2888.53)	2.46 (0.13-108358.83)	21.93 (0.40-3292.89)	13.67 (1.46-1802.51)	0.12
View ratio	12.61 (0-3116.40)	2.46 (0.13-836.16)	23 (0.45-3441.86)	14.11 (1.78-2117.95)	0.085

Kruskal-Wallis test results were given with the median (minimum-maximum) values.

JAMA: the Journal of the American Medical Association Score

GQS: the Global Quality Score

DDS: Diabetic Diet Score

VPI: Video power index

The video power index (VPI) and view rate were used to determine the popularity of a video. The VPI was calculated using the equation  $[\text{like ratio} \times \text{view ratio}/100]$ , as described by Erdem et al., the like ratio was calculated using the equation  $[\text{like} \times 100 / (\text{like} + \text{dislike})]$ , and the view ratio was calculated using the equation  $[\text{number of views}/\text{time since upload}]$  (Erdem et al. 2018; Celik et al. 2020).

Since there were four groups in the study, the significance level was accepted as  $.05/4 = .0125$ . There was no significant difference between the groups in terms of JAMA or DDS scores, VPI, or view ratio ( $p > 0.05$ ). In the DISCERN, GQS, and

usefulness scores, physician sourced videos had statistically higher scores than commercial-sourced videos ( $p < 0.05$ ). On the other hand, JAMA, DDS, VPI, and view ratio scores did not differ in terms of the video source ( $p > 0.05$ ).

Table 4. Correlations between variables

Variables	VPI (rho; p)	DISCERN (rho; p)	JAMA (rho; p)	GQS (rho; p)	Usefulness (rho; p)	DDS (rho; p)
View ratio	<b>.994**</b> .000	-.139 .181	-.060 .567	-.045 .664	-.102 .330	-.048 .643
Duration	0.152 .144	<b>.554**</b> .000	<b>.518**</b> .000	<b>.567**</b> .000	<b>.433**</b> .000	<b>.564**</b> .000
Likes	<b>.918**</b> .000	-.041 .698	.026 .801	.019 .859	-.036 .730	.026 .801
VPI		-.133 .202	-.058 .581	-.043 .680	-.092 .377	-.039 .712

\*\*Correlation is significant at the 0.01 level.

The video power index (VPI) and view rate were used to determine the popularity of a video. The VPI was calculated using the equation [like ratio  $\times$  view ratio/100], as described by Erdem et al., the like ratio was calculated using the equation (like  $\times$  100/[like + dislike]), and the view ratio was calculated using the equation [number of views/time since upload] (Erdem et al. 2018; Celik et al. 2020).

Table 4 contains correlation analysis results between the video features and the scoring systems. There was a significant and positive correlation between the view ratio and VPI. As the view ratio increased, the VPI also increased ( $p < 0.001$ ). There were no significant correlations between the view ratio and DISCERN, JAMA, GQS, usefulness, or DDS scores ( $p > 0.05$ ). While there was a statistically significant and positive relationship between DISCERN, JAMA score, GQS, usefulness score, DDS, and duration ( $p < 0.01$ ), the correlations with the VPI were insignificant ( $p > 0.05$ ). There was a significant correlation between the number of likes and VPI. The VPI increased with the number of likes ( $p < 0.01$ ). The relationship of the number of likes with other variables was found to be insignificant ( $p > 0.05$ ). It was concluded that there was no significant relationship between the VPI and DISCERN, JAMA, GQS, usefulness, or DDS scores ( $p > 0.05$ ).

In recent years, there has been a significant increase in the number of patients receiving counseling over the internet. YouTube is an online platform that provides easy access to relevant informational content (Desai et al. 2013). The present study aimed to evaluate the accuracy, and the quality of the information of the videos about diabetes and nutrition on YouTube. YouTube, one of the most popular video sharing platforms today, is used increasingly every day to spread health-related information. Although videos on diabetes have educational characteristics for the treatment and prevention of the disease, the insufficiency and poor quality of the available information should also be taken into account. For this reason, web-based information sources cannot replace the professional physician-patient relationship (Pons-Fuster et al. 2020). Additionally, it may become more difficult to inform patients correctly after they have received false information on the internet. In a study of Madathil et al. conducted on health data on YouTube, it was concluded that because YouTube is one of the most accessed websites worldwide, misleading information about healthcare is very likely to spread to patients easily. It was argued that the patients' ease of access to this misleading information may have negative consequences (Madathil et al. 2015).

In the present study, 4.3% of the videos concerned patient experience, 43.6% were informative, 45.7% concerned nutrition education, and 6.4% were advertisements. The average scores of the DISCERN, GQS, JAMA, usefulness and DDS systems were 35.41 (out of 92), 2.83 (out of 6), 2.54 (out of 5), 3.80 (out of 11), and 4.94 (out of 11), respectively. The view ratio of videos can be used as an alternative way to determine availability. The content

of this study includes commercial and patient-sourced videos, videos with higher VPI scores, and view ratios. The VPI rates of physician-, dietitian-, commercial- and patient-sourced videos were 11.2, 2.46, 21.93, and 13.67, respectively. The VPI showed a significant positive correlation with view ratio, duration, and the number of likes ( $p < 0.001$ ). According to the results, Physician, dietitian, commercial, and patient-sourced videos differed significantly in DISCERN, GQS, and usefulness scores ( $p < 0.05$ ). In the DISCERN, GQS, and usefulness scores, physician sourced videos had statistically higher scores than commercial-sourced videos (.0125). Additionally, the accessibility of physician-, dietitian-, and commercial-sourced videos in DDS scoring was found to be significantly higher than that of patient-sourced videos ( $p < 0.001$ ). In the DISCERN scoring, 36.2% of the videos were poor and 29.8% were very poor. For this reason, it is suggested that YouTube users may often obtain insufficient information. The DISCERN scoring was developed in a study conducted by Lee for gallbladder diseases (Lee et al. 2014). In 2018, Erdem and Şişik edited Lee's scoring to make it more suitable for the bariatric surgery group and used it in their studies (Erdem & Sisik, 2018). The DISCERN and GQS scores were accepted and used as a reference in a study on YouTube information on diabetes and oral health by Pons-Fuster et al. in which ninety-seven videos and YouTube videos about diabetes and oral health were evaluated. As a result, it was found that 30.9% of the videos were useful, 62.9% contained misleading information, and 6.2% described patient experiences. In the study, it was determined that the gqs scores of the videos containing patient experience were low (Pons-Fuster et al. 2020). In another study that tested the usefulness of YouTube videos for diabetes, the usefulness rate of 2084 videos were below 50%, and the rate of misleading information was found to be approximately 25% (Gimenez-Perez et al. 2020).

In this study, a positive correlation was observed when the video duration, VPI, and quality scores were compared. The findings are also in accordance with Biggs et al.'s study, which found that long videos have less visibility, and people tend to learn more from short videos (Biggs et al. 2013).

## 4. Conclusion

The quality of online information on diabetic nutrition provided by YouTube is generally poor. YouTube users generally preferred to watch patient-based and commercial videos that were of lower quality.

## 5. Acknowledgement

The authors would like to extend their sincere thanks to anyone who contributed to this study.

### Conflict of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest.

## References

- Abedin, T., Ahmed, S., Al Mamun, M., Ahmed, S. W., Newaz, S., Rumana, N., & Turin, T. C. (2015). YouTube as a source of useful information on diabetes foot care. *Diabetes research and clinical practice*, *110*(1), e1–e4. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2015.08.003>
- Atkinson, N. L., Saperstein, S. L., & Pleis, J. (2009). Using the internet for health-related activities: findings from a national probability sample. *Journal of medical Internet research*, *11*(1), e4. <https://doi.org/10.2196/jmir.103>
- Bernard, A., Langille, M., Hughes, S., Rose, C., Leddin, D., & Veldhuyzen van Zanten, S. (2007). A systematic review of patient inflammatory bowel disease information resources on the World Wide Web. *The American journal of gastroenterology*, *102*(9), 2070–2077. <https://doi.org/10.1111/j.1572-0241.2007.01325.x>
- Biggs, T., Bird, J., Harries, P., & Salib, R. (2013). YouTube as a source of information on rhinosinusitis: the good, the bad and the ugly. *The Journal of Laryngology & Otology*, *127*, 749–754.
- Celik, H., Polat, O., Ozcan, C., Camur, S., Kilinc, B. E., & Uzun, M. (2020). Assessment of the Quality and Reliability of the Information on Rotator Cuff Repair on YouTube. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research: OTSR*, *106*(1), 31–34. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2019.10.004>
- Charnock, D., Shepperd, S., Needham, G., & Gann, R. (1999). DISCERN: an instrument for judging the quality of written consumer health information on treatment choices. *Journal of epidemiology and community health*, *53*(2), 105–111. <https://doi.org/10.1136/jech.53.2.105>
- COŞANSU G (2015). Diyabet: Küresel Bir Salgın Hastalık. *Okmeydanı Tıp Dergisi*, *31*(ek sayı), 1 - 6.
- Desai, T., Shariff, A., Dhingra, V., Minhas, D., Eure, M., & Kats, M. (2013). Is content really king? An objective analysis of the public's response to medical videos on YouTube. *PloS one*, *8*(12), e82469. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082469>
- Diabetes Canada Clinical Practice Guidelines Expert Committee, Sievenpiper, J. L., Chan, C. B., Dworatzek, P. D., Freeze, C., & Williams, S. L. (2018). Nutrition Therapy. *Canadian journal of diabetes*, *42 Suppl 1*, S64–S79. <https://doi.org/10.1016/j.cjcd.2017.10.009>
- Erdem, H., & Sisik, A. (2018). The Reliability of Bariatric Surgery Videos in YouTube Platform. *Obesity surgery*, *28*(3), 712–716. <https://doi.org/10.1007/s11695-017-2911-3>
- Erdem, M. N., & Karaca, S. (2018). Evaluating the Accuracy and Quality of the Information in Kyphosis Videos Shared on YouTube. *Spine*, *43*(22), E1334–E1339. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000002691>
- Esen, E., Aslan, M., Sonbahar, B. Ç., & Kerimoğlu, R. S. (2019). YouTube English videos as a source of information on breast self-examination. *Breast cancer research and treatment*, *173*(3), 629–635. <https://doi.org/10.1007/s10549-018-5044-z>
- Ferhatoglu, M. F., Kartal, A., Ekici, U., & Gurkan, A. (2019). Evaluation of the Reliability, Utility, and Quality of the Information in Sleeve Gastrectomy Videos Shared on Open Access Video Sharing Platform YouTube. *Obesity surgery*, *29*(5), 1477–1484. <https://doi.org/10.1007/s11695-019-03738-2>
- Fox, S., & Duggan, M. (2013). Tracking for health. Pew Research Center's Internet & American Life Project.
- Gimenez-Perez, G., Robert-Vila, N., Tomé-Guerreiro, M., Castells, I., & Mauricio, D. (2020). Are YouTube videos useful for patient self-education in type 2 diabetes? *Health informatics journal*, *26*(1), 45–55. <https://doi.org/10.1177/1460458218813632>
- Han, T., Gao, J., Wang, L., Li, C., Qi, L., Sun, C., & Li, Y. (2020). The Association of Energy and Macronutrient Intake at Dinner Versus Breakfast with Disease-Specific and All-Cause Mortality Among People With Diabetes: The U.S. National Health and Nutrition Examination Survey, 2003–2014. *Diabetes care*, *43*(7), 1442–1448. <https://doi.org/10.2337/dc19-2289>
- Kocuyigit, B. F., & Akaltun, M. S. (2019). Does YouTube provide high quality information? Assessment of secukinumab videos. *Rheumatology international*, *39*(7), 1263–1268. <https://doi.org/10.1007/s00296-019-04322-8>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, *33*(1), 159–174.
- Lee, J. S., Seo, H. S., & Hong, T. H. (2014). YouTube as a source of patient information on gallstone disease. *World journal of gastroenterology*, *20*(14), 4066–4070. <https://doi.org/10.3748/wjg.v20.i14.4066>
- Madathil, K. C., Rivera-Rodriguez, A. J., Greenstein, J. S., & Gramopadhye, A. K. (2015). Healthcare information on YouTube: A systematic review. *Health informatics journal*, *21*(3), 173–194. <https://doi.org/10.1177/1460458213512220>
- Nason, G. J., Kelly, P., Kelly, M. E., Burke, M. J., Aslam, A., Giri, S. K., & Flood, H. D. (2015). YouTube as an educational tool regarding male urethral catheterization. *Scandinavian journal of urology*, *49*(2), 189–192. <https://doi.org/10.3109/21681805.2014.975837>
- Özer, E. (2019). Diyabette Tıbbi Beslenme Tedavisinin Uygulanması ve Diyetisyenin Sorumlulukları. *Bes Diy Derg* *2019;47(Özel Sayı):5-14*.
- Pant, S., Deshmukh, A., Murugiah, K., Kumar, G., Sachdeva, R., & Mehta, J. L. (2012). Assessing the credibility of the "YouTube approach" to health information on acute myocardial infarction. *Clinical cardiology*, *35*(5), 281–285. <https://doi.org/10.1002/clc.21981>
- Pons-Fuster, E., Ruiz Roca, J., Tvarijonavičiute, A., & López-Jornet, P. (2020). YouTube information about diabetes and oral healthcare. *Odontology*, *108*(1), 84–90. <https://doi.org/10.1007/s10266-019-00445-3>
- Rittberg, R., Dissanayake, T., & Katz, S. J. (2016). A qualitative analysis of methotrexate self-injection education videos on YouTube. *Clinical rheumatology*, *35*(5), 1329–1333. <https://doi.org/10.1007/s10067-015-2910-5>
- Rutten, L. J., Squiers, L., & Hesse, B. (2006). Cancer-related information seeking hints from the 2003 Health Information National Trends Survey (HINTS). *Journal of health*

- communication, 11 Suppl 1*, 147–156.  
<https://doi.org/10.1080/10810730600637574>
- Silberg, W. M., Lundberg, G. D., & Musacchio, R. A. (1997). Assessing, controlling, and assuring the quality of medical information on the Internet: Caveant lector et viewor--Let the reader and viewer beware. *JAMA*, *277*(15), 1244–1245.
- Smith, P. E., McGuire, J., Falci, M., Poudel, D. R., Kaufman, R., Patterson, M. A., Pelleschi, B., & Shin, E. (2019). Analysis of YouTube as a Source of Information for Diabetic Foot Care. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *109*(2), 122–126. <https://doi.org/10.7547/16-149>
- Tolu, S., Yurdakul, O. V., Basaran, B., & Rezvani, A. (2018). English-language videos on YouTube as a source of information on self-administer subcutaneous anti-tumour necrosis factor agent injections. *Rheumatology international*, *38*(7), 1285–1292.  
<https://doi.org/10.1007/s00296-018-4047-8>
- Wild, S., Roglic, G., Green, A., Sicree, R., & King, H. (2004). Global prevalence of diabetes estimates for the year 2000 and projections for 2030. *Diabetes care*, *27*(5), 1047–1053.  
<https://doi.org/10.2337/diacare.27.5.1047>





## Obezite ve Mikrobiyota Etkileşimlerine Genel Bakış

Jale Çatak<sup>1\*</sup>, Esra Yıldırım Servi<sup>2</sup>, Nureslem Memiş<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2718-0967), [jalecatak@gmail.com](mailto:jalecatak@gmail.com)

<sup>2</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5094-5828), [esrayildirim.yl@gmail.com](mailto:esrayildirim.yl@gmail.com)

<sup>3</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8360-7865), [eslemmemis@gmail.com](mailto:eslemmemis@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 10 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 22 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.935513)

**ATIF/REFERENCE:** Çatak, J., Yıldırım Servi, E. & Memiş, N. (2021). Obezite ve Mikrobiyota Etkileşimlerine Genel Bakış. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 275-291.

### Öz

Bağırsak florasının dengesizliği olarak adlandırılan disbiyoz, obeziteyle ilişkilendirilmektedir. Disbiyoz, bağırsak geçirgenliğinin artmasına neden olmaktadır, böylece sistemik dolaşımda lipopolisakkarit seviyeleri yükselmekte ve inflamasyon gelişmektedir. Bağırsak mikrobiyotasının bir diğer rolü ise diyetten enerji ekstraksiyonunu ve endokannabinoid sistemi modüle etmesidir. Bununla birlikte bağırsıklıkla etkileşim halindedir. Obezitede görülen inflamasyon, artmış endokannabinoid sistem aktivitesi, bağırsak ve bağırsıklık değişiklikleri; bağırsak mikrobiyotasını umut verici bir terapötik hedef yapmaktadır. Bağırsak mikrobiyotasının, probiyotik, prebiyotik, egzersiz ve fonksiyonel besinler gibi bileşenlerle modülasyonunun, obezite ve obeziteyle ilişkili bozuklukları iyileştirmede güçlü bir yaklaşım olabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikrobiyota, Obezite, Bağırsıklık, Beslenme, Probiyotik, Prebiyotik.

## Overview of Obesity and Microbiota Interactions

### Abstract

The gut microbiota has a symbiotic relationship with its host and can help many physiological events. Dysbiosis, called imbalance of the gut microbial population, is associated with obesity. Dysbiosis causes increased intestinal permeability, so in the systemic circulation, lipopolysaccharide levels rise, and inflammation develops. Another role of the gut microbiota is that it modulates energy extraction from the diet and the endocannabinoid system. However, it interacts with immunity. Inflammation, increased endocannabinoid system activity, and intestinal and immune changes in obesity make the gut microbiota a promising treatment target in obesity. It is thought that modulation of the gut microbiota with components such as probiotics, prebiotics, exercise, and functional foods may be a powerful approach to improving obesity and obesity-related disorders.

**Keywords:** Microbiota, Obesity, Immunity, Nutrition, Probiotic, Prebiotic.

\* Sorumlu Yazar: [jalecatak@gmail.com](mailto:jalecatak@gmail.com)

## 1. Giriş

Obezite, vücutta aşırı derecede yağ birikimi olarak tanımlanan ciddi bir hastalıktır (Hu ve ark, 2020; Muscogiuri ve ark, 2019). Genellikle 30 kg/m<sup>2</sup>'den yüksek beden kütle indeksine (BKİ) sahip bireyler obez olarak kabul edilmektedir (Hiel ve ark, 2020). 2016 yılında 1,9 milyardan fazla yetişkinin aşırı kilolu olduğu bildirilirken, 650 milyonun üzerinde obez insan bulunmaktaydı (Faintuch J. ve Faintuch S., 2019; Hu ve ark, 2020). Bu veriler, obezite prevalans ve insidansının son otuz yılda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde hızla yükselmesiyle uyum göstermektedir (Lin ve ark, 2016; Wang ve ark, 2020). Obezitenin görülmesindeki bu çarpıcı artış sağlık açısından birçok olumsuz etkiye sahiptir (Moran ve Shanahan, 2014). Çünkü obezite, birçok organ ve sistemi etkileyerek kardiyovasküler hastalık, hipertansiyon, kanser, Tip 2 diyabet ve bilişsel bozukluklar dahil olmak üzere birçok komorbiditeyi ortaya çıkarmaktadır (Biyong ve ark, 2020; Dong ve ark, 2016; Luck ve ark, 2019; Gizlici ve Çatak, 2019). Obezite veya aşırı kilolu olması nedeni ile her yıl en az 2,6 milyon insan kalp krizi geçirme ve böyle bir süreç ile ilişkili patolojiler nedeniyle ölme riski ile karşı karşıyadır (Nunez ve ark, 2014). Son yirmi yılda elde edilen gözlemsel bulgular, bağırsak mikrobiyotasının metabolik sağlığa etki ettiğini ve disbiyozu uğraması durumunda; obezite, Tip 2 diyabet, alkolsüz karaciğer hastalığı, kardiyometabolik hastalıklar ve malnutrisyon gibi metabolik bozukluklara neden olduğunu göstermiştir (Ballini ve ark, 2020; Fan ve Pedersen, 2020; Nakamura ve ark, 2020).

Bağırsak mikrobiyota dengesizliği (disbiyoz); esas olarak besin alımını, enerji düzenlenmesini ve yağ depolanmasını modüle ederek, bağırsıklık, sinir veya metabolik yollar aracılığıyla bağırsak-beyin eksenini etkileyerek obezite ve obeziteyle ilişkili metabolik bozukluklara yol açmaktadır (Araujo ve ark, 2017; Hiel ve ark, 2020; Palmas ve ark, 2021; Wang ve ark, 2020). Bu nedenle, ortaya çıkan kanıtlar bağırsak mikrobiyotasını obezite ile ilişkilendirmektedir (Kim ve ark, 2017; Mojsak ve ark, 2020; Palmas ve ark, 2021). Bağırsak mikrobiyotası ve obezite arasındaki etkileşimlerin tanımlanmasıyla; bağırsak mikrobiyota kompozisyonunu olumlu yönde değiştiren probiyotik ve prebiyotikler gibi diyet araçları, obeziteyi modüle etme potansiyeli barındırdığı için yeni bir terapötik hedef olarak ilgi toplamıştır (Kim ve ark, 2017; Klancic ve Reimer, 2020). Bağırsak mikrobiyota bileşimindeki bir değişikliğin farklı hastalıklarla bağlantılı olduğu düşünüldüğünde, bağırsak mikrobiyota bileşiminin diyet müdahalesiyle modülasyonu umut verici bir terapötik yolu temsil etmektedir (Schroeder ve Backhed, 2016; Thomaz ve ark, 2020; Wang ve ark, 2020).

## 2. Obezite

Obezite; çok faktörlü bir etiyojolojiye sahiptir (Klancic ve Reimer, 2020; Zhao, 2013; Quiroga ve ark, 2020). En yaygın nedeni; enerji alımı ve harcanması arasındaki enerji dengesizliğidir (Kim ve ark, 2017; Li ve ark, 2017; Miyamoto ve ark, 2019; Çatak ve ark, 2019; Çatak ve ark, 2021a). Bu dengesizlik, metabolitler ve hormonlar yoluyla çoklu yolları etkileyerek adipositlerin fazla enerjiyi trigliserit olarak depolamasına ve böylelikle aşırı yağ birikimine neden olmaktadır (Mishra ve ark, 2016; Miyamoto ve ark, 2019). Diğer etiyojolojik faktörler arasında; kalitesi düşük bir diyet, insülin direnci, sistemik inflamasyon ve genetik yatkınlık yer almaktadır

(Legrand ve ark, 2020; Nunez ve ark, 2014). Genetik yatkınlık hem insan genomunu hem de çeşitli epitelyal yüzeylerde bulunan vücut mikrobiyotasını oluşturan çoklu mikroorganizmaların metagenomlarını içerir (Legrand ve ark, 2020). Bireyler, genetik varyasyonlar nedeniyle obeziteye yatkın hale gelebilir (Upadhyay ve ark, 2012). Obezite ile ilgili en iyi bilinen genler leptin (*ob*) ve leptin reseptörü (*db*) moleküllerini kodlamaktadır (Shen ve Maitin, 2015). *Ob* geninin enerji dengesini düzenlediği ve mutasyonunun; metabolik aktivitelere, yağ birikiminde, vücut ısısında ve ağırlığında düzenleme bozukluklarına neden olarak obezite gibi metabolik hastalıklara yol açtığı bilinmektedir (Lin ve ark, 2016). İnsan genomu çapında ilişkilendirme çalışmalarında, obeziteye katkıda bulunan bir dizi lokus tespit edilmiştir. Ancak bu çalışmaların önemli bir kısıtlılığı, obezitede yaygın olan çevresel etkileşimlerinin değerlendirilememesidir (Parks ve ark, 2013). Melanokortin-4-reseptör (*MCR4*), poligenik obezite ve bağırsak mikrobiyotası ile etkileşimde rol oynayan peroksizom proliferatör ile aktive olan reseptör (*PPAR $\gamma$* ) ve güçlü şekilde obeziteye yatkınlıkla bağlantılı olan yağ kütlesi ve obezite ile ilişkili (*FTO*) gen bölgesi çalışılmış en iyi obezite genleridir.

Bireyin genetik yapısı hastalık oluşumuna katkıda bulunan bir faktör olsa da çevresel faktörlerin modern obezite pandemisinin temel nedeni olma olasılığı daha yüksektir (Shen ve Maitin, 2015). Genetik faktörlere ek olarak, bağırsaktaki mikrobiyal topluluğun da insanlarda ve farelerde obeziteyi etkilediği, özellikle yetişkinlerde obezitenin altında yatan ana faktör olduğu gösterilmiştir (Kim ve ark, 2017; Lin ve ark, 2016; Quiroga ve ark, 2020). Bağırsak mikrobiyotasının genetik düzenleme altında karmaşık bir poligenik özellik oluşturduğu bilinmektedir (Parks ve ark, 2013; Zmora ve ark, 2019). Aynı genetik geçmişe sahip fareler benzer bir mikrobiyota kompozisyonuna sahiptir ve genotipe özgü bağırsak mikrobiyotası, konağın fenotipik özelliklerine katkıda bulunabilmektedir (Faintuch J. ve Faintuch S., 2019). Bununla birlikte yağ, rafine karbonhidrat ve enerji açısından zengin diyetlerin obezite salgınına katkıda bulunan en önemli çevresel faktör olduğu bilinir (Fan ve Pedersen, 2020; Miyamoto ve ark, 2019; Zhao, 2013; Çatak ve ark., 2015). Parks ve ark (2013) tarafından yapılan çalışmada, obezitede yaygın olan gen-diyet etkileşimlerinin değerlendirilmesi için erkek fareler, tipik bir fast food diyetini temsil eden yüksek yağ ve yüksek sakkaroz (HF/HS) diyetiyle *ad libitum* beslenmiş ve çoğu farede, ilk 2 haftada vücut yağında çarpıcı bir artış gözlenmiştir. Bu çalışmadan yola çıkarak; obezitenin ortama yanıt olarak meydana gelen vücut yağı değişikliklerinin, güçlü bir genetik düzenleme altında olduğu sonucuna ulaşılabılır. Çünkü 4 haftalık HF/HS beslenmesinden sonra çoğu fare vücut yağında daha fazla artışın olmadığı bir üst sınıra ulaşmıştır. Bağırsak mikrobiyotasının genetik faktörlerden etkilendiği fikrine uygun olarak, HF/HS beslenmesinden sonra genetik arka planın bağırsak mikrobiyotasının bileşimi ve plastisitesi üzerinde güçlü bir etkisi olduğu gözlenmiştir (Parks ve ark, 2013). Bağırsak mikrobiyotası, gerçekten de obezitenin patogenezinde önemli bir rol oynamaktadır (Moran ve Shanahan, 2014; Nakamura ve ark, 2020). Obezite patogenezinde yer alan mekanizmalar; bağırsak geçirgenliğinin artması, bağırsak mikrobiyotasının değişmesi ve kronik enerji fazlalığına ek olarak düşük dereceli inflamasyona yol açan yüksek düzeyde lipopolisakkarit (LPS) seviyeleridir (Everard ve Cani, 2013; Hiel ve ark, 2020; Moran ve Shanahan, 2014). Günümüzde, obezitenin klinik yönetimi, obeziteyle ilişkili bozuklukları tedavi etmeye yönelik olup beslenme ve

davranışsal yönetimleri içermektedir (Everard ve Cani, 2013; Nagano ve Yano, 2020).

### 3. Mikrobiyota

Mikrobiyota; taksonomik olarak tanımlanmış ve tanımlanmamış karmaşık ve heterojen bir ekosistem olup bakteri, arke, virüs, mantar ve diğerleri de dâhil olmak üzere insan vücudunun birçok bölgesinde bulunan mikrobiyal organizmaların toplamıdır (Bruce ve ark, 2015; Faintuch J. ve Faintuch S., 2019; Pascale ve ark, 2019). Bağırsak sistemi, insan vücudunun en yoğun kolonileşmiş ekosistemini içerir (Araujo ve ark, 2017; Fan ve Pedersen, 2020). Bağırsak kanalındaki mikropların sayısı yaklaşık 100 trilyon hücredir ve bu değer insan hücreleriyle aynı büyüklükte olduğu tahmin edilir (Araujo ve ark, 2017; Klancic ve Reimer, 2020). Bununla birlikte mikrobiyal genlerin, insan genomundaki genlerden yaklaşık 150 kat daha fazla olduğu tahmin edilmektedir. Bu durum, mikrobiyotanın insan genomunda kodlanmamış çeşitli metabolik aktiviteler gerçekleştirmesini sağlar. Mikrobiyota, sanki 'ikinci bir genom' gibi, organizmanın genetik aktivitesinin %98'inden fazlasını gerçekleştirebilir (Klancic ve Reimer, 2020; Moran ve Shanahan, 2014; Pascale ve ark, 2019). Bireyler benzer çekirdek mikrobiyotayı paylaşırlar ancak çeşitlilik, tür ve gen işlevleri dahil olmak üzere sayısız farklılıkları vardır (Bakker ve Nieuwdorp, 2017; Nicolucci ve ark, 2017). Dinamik mikroorganizma popülasyonu; beslenme, sindirim, endokrin ve bağışıklık sistemlerinin modüle edilmesi, büyüme ve inflamasyon dâhil olmak üzere çok sayıda fizyolojik fonksiyona katılmaktadır (Bruce ve ark, 2015; Everard ve Cani, 2013; de Souza ve ark, 2015). Bu nedenle, bağırsak mikrobiyotası, metabolik bir organ olarak da düşünülebilir. Gerçekten de sadece sindirilen besinlerin ve enerjinin toplanmasını kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda vitamin ve kısa zincirli yağ asitleri (SCFA) gibi çok çeşitli biyoaktif bileşikler üretme ve düzenlemede görev alır (Bakker ve Nieuwdorp, 2017; Fan ve Pedersen, 2020; Pascale ve ark, 2019). Bağırsak mikrobiyal topluluğunun büyük çoğunluğu *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Actinobacteria*, *Proteobacteria* ve *Verrucomicrobia* olmak üzere beş filumdan oluşur. (Bakker ve Nieuwdorp, 2017; Mojsak ve ark, 2020). *Firmicutes*'in temel üyeleri arasında *Clostridium*, *Lactobacillus* ve *Ruminococcus* cinslerinin yanı sıra bütirat üreticileri *Eubacterium*, *Fecalibacterium* ve *Roseburia* yer alır (Klancic ve Reimer, 2020; Mishra ve ark, 2016). *Bacteroidetes* üyelerinin diyet lifi için etkili bozucular oldukları bilinir ve *Bacteroides*, *Prevotella* ve *Xylanibacter* cinslerini içerir (Schroeder ve Backhed, 2016). Bifidobakteriler, *Actinobacteria* içinde önemli bir cins olup endotoksin seviyelerini düşürdüğü ve mukozal bariyer işlevini iyileştirdiği kanıtlanmıştır (Cao ve ark, 2019; Klancic ve Reimer, 2020). Bununla birlikte, BMI daha yüksek olan kişilerde daha düşük düzeyde yoğunluk gösterirken, visceral yağlanma ile negatif bir korelasyon gösterirler (Klancic ve Reimer, 2020; Schroeder ve Backhed, 2016; Zhang ve ark, 2012). Diyetteki yüksek yağ/karbonhidrat oranının bağırsaktaki *Bifidobacterium* düzeyindeki artışı geciktirdiği ve bu durumun adipozite ve insülin direnci ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Zhang ve ark, 2012). *Firmicutes* ve *Bacteroidetes* bilinen filogenetik kategorilerin %90'ından fazlasını oluşturur ve distal bağırsak mikrobiyotasına hakimdir (Moran ve Shanahan, 2014; Ly ve ark, 2011; Pascale ve ark, 2019). *Firmicutes*'in, lipoprotein lipaz inhibitör salınımı üzerinde inhibe edici bir etkiye sahip olduğu, dolayısıyla

enzimatik aktivitenin ve yağ olarak enerji birikiminin artmasına neden olduğu bildirilmiştir (Muscogiuri ve ark, 2019).

Bağırsak mikrobiyotası, doğuştan gelen immün yanıtı uyarak bağırsak hücrelerinin proliferasyonunu ve yenilenmesini indüklemek, patojen mikroorganizmaların çoğalmasını önlemek, sindirilemeyen karbonhidratların ve ksenobiyotiklerin metabolize edilmesi gibi birçok etkiyle konakçı bağırsak fizyolojisi üzerinde büyük bir pozitif etkiye sahiptir (Araujo ve ark, 2017; Fan ve Pedersen, 2020; Mishra ve ark, 2016). Bununla birlikte; enerji metabolizmasında rol oynayarak konakçı metabolik homeostaza katkıda bulunur (Bakker ve Nieuwdorp, 2017; Hu ve ark, 2020; Nagano ve Yano, 2020). Bağırsak mikrobiyotasının gelişimi erken çocukluk döneminde başlamakla birlikte; doğum yöntemi, emzirme, prematüre ve erken antibiyotik kullanımı dahil olmak üzere diyet, çevre ve çeşitli değişkenlerden etkilenir (Schroeder ve Backhed, 2016; Zmora ve ark, 2019; Quiroga ve ark, 2020). İnsanlarda gastrointestinal sistem doğumda steril iken, ilk neonatal bağırsak kolonizasyonu, doğum şekline bağlı olarak anne florası veya yakın çevredeki bakteriler tarafından belirlenir (Ly ve ark, 2011; Moran ve Shanahan, 2014). Sezaryen doğumun vajinal doğuma kıyasla erken çocuklukta obezite riskini artırıp artırmadığına dair farklı veriler mevcuttur (Moran ve Shanahan, 2014). Bununla birlikte, annelerdeki obezitenin bağırsak mikrobiyotası bebeğe aktarılırsa uzun vadeli metabolik bozuklukların erken yaşamda başlayabileceği kabul edilir (Klancic ve Reimer, 2020; Wilkins ve Reimer, 2021). Erken yaşamda bağırsak mikrobiyotasındaki değişikliklerin, iştahı düzenleyen mekanizmalar üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu ve obezitenin başlangıcını teşvik ettiği bildirilmiştir (Mishra ve ark, 2016; Muscogiuri ve ark, 2019). Yaşamın ilk döneminde anne sütü birçok açıdan önemli olmakla birlikte bebeğe prebiyotik olarak oligosakkaritleri sağlayarak bağırsak mikrobiyotasının kolonizasyonunu da desteklemektedir (Fan ve Pedersen, 2020; Fitzpatrick ve Dhawan, 2019). Anne sütüyle beslenen 8 haftalık bebeklerde baskın bakteri türünün *Bifidobacterium*, formülle beslenen yenidoğanlarda ise *Bacteroides* türlerinin baskın olduğunu gösterilmiştir (Cao ve ark, 2019; Ly ve ark, 2011). Neonatal bağırsak mikrobiyal kolonizasyonu, dengeli bir bağışıklık tepkisinin teşvik edilmesi ve sürdürülmesi açısından önemlidir (Ly ve ark, 2011). Çünkü doğumdan itibaren mikrobiyota ve konakçı bağışıklık sistemi birlikte gelişir ve karşılıklı olarak birbirine bağlıdır (Moran ve Shanahan, 2014). Böylece, mikrobiyota, bağışıklık sisteminin gelişimini şekillendirir ve karşılığında bağışıklık sistemi mikrobiyotanın bileşimini şekillendirir (Cao ve ark, 2019; Moran ve Shanahan, 2014). Yaşamın ilk aylarında ortaya çıkan bakteri türleri karmaşıktır, bağırsak ortamındaki değişiklikler nedeniyle birçok geçici tür ortaya çıkabilir (Qiu ve ark, 2020). Bu durumda normal olgunlaşma bozularak mikrobiyal toplulukta bir dengesizliğe veya obezite riskini ve diğer bazı hastalıkları etkileyebilecek olan disbiyozaya yol açabilmektedir (Cao ve ark, 2019; Klancic ve Reimer, 2020; Qiu ve ark, 2020). Bağırsak disbiyozu; inflamasyon, bağırsak geçirgenliği ve yüksek yağlı diyet (HFD) tüketimi ile tetiklenir (Araujo ve ark, 2017; Thomaz ve ark, 2020). Tüm bunlar bağırsak mikrobiyotasının bağırsak bariyer değişikliklerinin başlangıcında ve dolayısıyla obezitede metabolik endotoksemide rol oynadığını gösterir (Everard ve Cani, 2013). Bununla birlikte, deneysel modellerde bazı bağırsak mikrobiyal suşlarının kronik inflamasyonla ilişkili bağışıklık tepkilerini inhibe ettiği gösterilmiştir (Ly ve ark, 2011).



Görüldüğü üzere, bağırsak mikrobiyotası, konakçı bağışıklığının düzenlenmesinde, bağırsak endokrin ve nörolojik sinyalleme düzenlemede, toksinleri ortadan kaldırmada ve konakçıyı etkileyen çok sayıda bileşik üretimde önemli rollere sahiptir (Fan ve Pedersen, 2020; Thomaz ve ark, 2020). Mikrobiyotadan türetilen metabolitler, vücuttaki uzak organlara sinyal göndererek bağırsak bakterilerinin bağışıklık ve hormon sistemine, beyne (bağırsak-beyin eksen) ve konak metabolizmasının yanı sıra konakçının diğer işlevlere bağlanmasını sağlar (Moran ve Shanahan, 2014; Schroeder ve Backhed, 2016). Mikrobiyotada üretilen bu metabolitlerin profili; bağırsak mikrobiyotasının bileşimine, konakçı genetiği ve fizyolojisine bağlıdır (Shen ve Maitin, 2015). Mikrobiyota, epitel bariyer işlevini teşvik ederek konakçı-mikrop etkileşimlerinde karşılıklı bir rol oynar (Everard ve Cani, 2013; Bakker ve Nieuwdorp, 2017; Li ve ark, 2017; de Souza ve ark, 2015). Benzer çevre koşulları ve besinler için rekabet, bakteri kolonizasyonunu kısıtlar ve bakteri türleri arasında rekabete yol açar (Schroeder ve Backhed, 2016). Çeşitli faktörlerden dolayı; bu mikrobiyal toplulukların dengesizliği –disbiyoz- ; sistemik inflamasyon, alerji, kanser, gastrointestinal bozukluklar, obezite ve metabolik komorbiditelerin gelişimi ile ilişkilidir (Dong ve ark, 2016; de Souza ve ark, 2015; Quiroga ve ark, 2020). Üstelik birçok hastalığın kökeninin bozuk bağırsak mikrobiyota bileşiminden veya potansiyel olarak uzak organlara sinyal veren mikrobiyal metabolitlerden kaynaklandığını gösteren veriler mevcuttur (Fan ve Pedersen, 2020; Hu ve ark, 2020; Schroeder ve Backhed, 2016; Çatak ve ark., 2021b). Bağırsak mikrobiyotası tarafından üretilen metabolitler, obezite patogeneğinde ve enerji dengesinin korunmasında yoğun bir etkiye sahiptir ve obezitenin gelişmesinde etiyolojik bir faktör olarak düşünülebilir (Mishra ve ark, 2016; Mojsak ve ark, 2020). Örneğin, bağırsak mikrobiyotası, metabolik bir ara ürün olarak insülin duyarlılığı ve inflamasyon ile ilgili olan süksinat üretir. Farelerde farmakolojik olarak süksinat konsantrasyonları artırıldığında, süksinatın kahverengi adipoz dokuda protein 1 (UCP1) bağımlı termojenez için bir itici güç olduğu, glikoz toleransını iyileştirdiği ve böylece diyetle indüklenen obeziteye karşı korumayı artırdığı gösterilmiştir. Bununla birlikte, triptofanın mikrobiyal parçalanması durumunda, ortaya çıkan mikrobiyal katabolit olan indol, bağırsak epitel bariyer işlevlerini iyileştirmede, glukagon benzeri peptid 1 (GLP-1) salınımını artırmada rol oynadığı ve dolaylı olarak insülin salgılanmasını ve iştah düzenlemesini etkilediği bildirilmiştir (Fan ve Pedersen, 2020).

Bağırsak mikrobiyotasını oluşturan mikroorganizmalar tarafından çeşitli nörotransmitterler ve sitokinler salınarak santral sinir sistemi uyarılmaktadır. Bağırsak mikrobiyotasını oluşturan mikroorganizmaların sentezlediği serotonin ve GABA gibi nörotransmitterlerin obezite patogenezindeki etkileri bilinmektedir. Serotonin, vücut ağırlığı homeostazisini kontrol eden melanokortin nörotransmitterdir. Merkezi sinir sistemindeki ana inhibitör ve hipotalamik sinaptik iletimde yer alan nörotransmitterlerden biri olan GABA, beslenmeyi uyarmaktadır ve hipotalamik ARC'deki agouti ile ilişkili protein eksprese eden nöronlar tarafından sinaptik salınımı enerji dengesinin normal düzenlenmesi için gereklidir (Torres-Fuentes ve ark., 2017).

Bağırsak mikrobiyota analizleri genellikle dışkı materyali kullanılarak yapılmaktadır (Schroeder ve Backhed, 2016). Yaş, coğrafi konum ve diyet gibi çevresel faktörler, dışkı mikrobiyota bileşiminde değişkenliğe neden olduğundan, belirli bakteri

gruplarıyla vücut ağırlığı arasındaki tutarsız ilişkilerin literatürde rapor edildiğini görmek şaşırtıcı değildir (Rabot ve ark, 2016). Dışkı mikrobiyota bileşiminin analizi değerli bir araç olup biyobelirteç görevi görebilir, ancak konakçı ile en yakın temasta bulunan mikropları doğru bir şekilde yansıtmayabilir (Schroeder ve Backhed, 2016).

#### 4. Obezite ve Mikrobiyota Etkileşimleri

Obezite ve mikrobiyota arasındaki ilişkinin altında yatan mekanizmalar Şekil 1' de gösterilmiştir (Muscogiuri ve ark, 2019). Obezite; genetik ve çevresel faktörler arasındaki karmaşık etkileşimlerden kaynaklanır (Klancic ve Reimer, 2020; Lin ve ark, 2016; Parks ve ark, 2013). Obezitenin özellikleri arasında aşırı yağ birikimi, plazma lipit seviyelerinde önemli bir artış ve kronik, düşük dereceli inflamasyon yer alır (Wang ve ark, 2020). Obezite veya obeziteyle ilişkili yaşam faktörleri (diyet, ilaç, hijyen, antioksidan ve besinler) bağırsak ortamını değiştirebilmektedir (Legrand ve ark, 2020; Liu ve ark, 2017; Ly ve ark, 2011). Özellikle diyetin, bağırsak mikrobiyotası üzerindeki güçlü etkileri kanıtlanmıştır (Parks ve ark, 2013; Upadhyay ve ark, 2012; Zmora ve ark, 2019). Beslenme; konakçı ve mikrobiyota arasındaki bağlantı noktasına diyet sinyalleri göndererek, homeostazi sürdürür veya hastalığa yatkınlık sağlar (Hiel ve ark, 2020; Zmora ve ark, 2019). Bağırsak mikrobiyotası ise diyetin etkilerine aracılık eder, böylece konakçı metabolizmasını ve metabolik bozuklukların görülme sıklığını değiştirir (Araujo ve ark., 2017; Everard ve Cani, 2013; Miyamoto ve ark, 2019). Üstelik, bazı diyet türleri mikrobiyal topluluğu değiştirebilir. Örneğin, tamamen hayvansal ürünlerden oluşan bir diyetin, safraya toleranslı bakterilerde (*Alistipes*, *Bifidobifida* ve *Bacteroides*) zenginleşmeyi ve bitki polisakaritlerini metabolize eden *Firmicutes*'de tükenmeyi tetiklediği bildirilmiştir (Zmora ve ark, 2019). Bir bireyin bağırsak mikrobiyotasının bileşimi, son zamanlarda obezitenin ortama olası bir katkı olarak tanımlanmıştır (Hiel ve ark, 2020; Hu ve ark, 2020; Klancic ve Reimer, 2020). Bazı çalışmalar, *Eubacterium ventriosum* ve *Roseburia intestinalis* gibi SCFA üreticilerinin çokluğunun obezite ile ilişkili olduğunu göstermiştir (Cao ve ark, 2019; Fan ve Pedersen, 2020).

Genel olarak, sağlıklı bir mikrobiyota zengin olma eğilimindedir (Faintuch J. ve Faintuch S., 2019; Hiel ve ark, 2020). Bağırsak mikrobiyal çeşitliliğinin azalması; inflamasyon, insülin direnci ve yağlanma ile ilişkilendirilir (Muscogiuri ve ark, 2019; de Souza ve ark, 2015; Zhang ve ark, 2012). Beklenildiği gibi, obezite mikrobiyota “sağlıklı” bir mikrobiyotada görülen normal özelliklerden çeşitlilik ve işlevsel olarak sapma gösterir (Faintuch J. ve Faintuch S., 2019; Muscogiuri ve ark, 2019). İnsanlarda obezite, zayıf kontrollere kıyasla mikrobiyal çeşitliliğin azalmasıyla ilişkilendirilir (Cao ve ark, 2019; Klancic ve Reimer, 2020; Liu ve ark, 2017). Altı aylıkken mikrobiyal çeşitliliği azalmış bebekler, 7 yaşında kontrollere göre daha fazla obezite riski altındadır. İmmün toleransın bağırsak mikrobiyotası tarafından desteklendiği bilindiğinden; obezite kadınların çocuklarında da mikrobiyal çeşitlilik azalmaktadır (Fitzpatrick ve Dhawan, 2019). Bakteri çeşitliliğinin azalması ve bakteriyel genlerin ekspresyonunun değişmesi, obeziteyle ilgili olan metabolik yolları etkilemenin ana nedeni olarak kabul edilir (Hiel ve ark, 2020; Mishra, Dubey ve Ghosh, 2016). Üstelik, insan bağırsağındaki bazı mikrobiyal türler, kilo alımına veya kilo neden olabilir (Mojsak ve ark, 2020). Örneğin; *Ruminococcus*, *Clostridium sensu stricto*, *Blautia*, *Romboutsia* ve *Dorea*, BMI ve serum lipidleri dahil olmak üzere vücut ağırlığı



göstergeleriyle pozitif; *Alistipes*, *Roseburia*, *Parabacteroides*, *Butyrivococcus*, *Bacteroides*, *Parasutterella* ve *Clostridium IV* ise negatif korelasyon gösterdiği bildirilmiştir (Mojsak ve ark, 2020; Rosenbaum ve ark, 2015).

Hayvan modelleri ve insanlarda yapılan çalışmalar, obez bireylerin bağırsak mikrobiyotasının zayıf bireylerden farklı olduğunu doğrulamış ve obez mikrobiyotasının kilo verme, diyet, ilaçlar veya ameliyat yoluyla değiştirilebileceğini göstermiştir (Fan ve Pedersen, 2020; Nunez ve ark, 2014; Zhao, 2013). *Bifidobacterium* ve *Faecalibacterium prausnitzii* anti-inflamatuar etkilerle ilişkilidir. Buna ek olarak, yapılan takip çalışmasında çocukluk dönemindeki mikrobiyal bileşimin fazla kiloyu öngörebileceği gösterilmiş ve aşırı kilolu çocukların dışkı örneklerinde daha yüksek düzeyde *Staphylococcus aureus* ve daha düşük düzeyde *Bifidobacterium* bulunduğu tespit edilmiştir (Crovesy ve ark, 2020; Everard ve Cani, 2013). Yetişkinlerde ise özellikle *Eubacterium dolichum*, *Catenibacterium mitsuokai*, *Clostridium innocuum* ve *Lactobacillus reuteri* gibi mikroorganizmaların içeriklerinde obezite ile ilgili farklılıklar tespit edilmiştir (Cao ve ark, 2019; Muscogiuri ve ark, 2019). Obez bireylerin bağırsaklarında, zayıf olanlara kıyasla *Bacteroidetes* sayısının azaldığı ve *Firmicutes* sayısının arttığı belirlenmiştir (Liu ve ark, 2017; Souza ve ark, 2015; Zhao, 2013). Besin emilimi *Firmicutes*'in orantılı gösteriminde %20'lik bir artışla yaklaşık olarak 150 kcal artarken, *Bacteroidetes*'te %20 orantılı benzer düzeyde azaldığı düşünüldüğünde bu oran mantıklıdır (Cao ve ark, 2019; Moran ve Shanahan, 2014). Obezlerde *Firmicutes/Bacteroidetes* (F/B) oranındaki artışın, enerji alımını, depolamayı veya adipoziteyi teşvik etmek için olası bir konakçı aracılı yanıtla ilişkilendirilebilir (Cao ve ark, 2019; Wang ve ark, 2020). Yağ veya karbonhidrat kısıtlanmalı bir diyetle kilo verdikten sonra, obez deneklerin mikrobiyotaları *Bacteroidetes* yoğunluğunda artış ve *Firmicutes*'te ise düşüş olmasıyla birlikte zayıf bireylerin mikrobiyotalarına benzemeye başlamıştır (Cao ve ark, 2019; Ly ve ark, 2011; Nunez ve ark, 2014). Ancak bu bulgular evrensel değildir (Moran ve Shanahan, 2014; Rabot ve ark, 2016). İnsanlarda ve kemirgenlerde yapılan diğer çalışmalar, obez ve zayıf bireylerde *Firmicutes/Bacteroidetes* oranında bir fark bulunmadığını ve kilo kaybının bu oran üzerinde etkisinin olmadığını göstermiştir (Hu ve ark, 2020; Klancic ve Reimer, 2020; Moran ve Shanahan, 2014). Bu durum, örneklem büyüklüğü, bireylerin klinik ve antropometrik özellikleri (yaş, cinsiyet, mikrobiyota profilinde bireyler arası farklılıklar ve obezitenin şiddeti) ve kullanılan mikrobiyota profillemeye metodolojileri ile ilgili çalışmalar arasındaki farklılıklarla açıklanabilir (Araujo ve ark, 2017). *Firmicutes/Bacteroidetes* oranının obeziteyle ilişkisinin tutarsız olması, bağırsak mikrobiyotasında tespit edilmemiş varyantların obezite risklerine katkıda bulunabileceği veya dikkate alınmamış faktörlerin, mikrobiyota işlevini etkilediğini göstermektedir (Muscogiuri ve ark, 2019). Tüm *Firmicutes* filumunun obezite ile ilişkili olması yerine, bu filumdaki baskın bir sınıf olan *Mollicutes* (şimdi *Erysipelotrichia* olarak adlandırılır) içindeki türlerin varlığı obeziteyle ilişkili olabilir. Yapılan bir çalışmada obez farelerde batı diyetinin *Mollicutes* artışına neden olduğu bulunmuş ve obezitenin gelişmesinden sorumlu tutulmuştur (Zhang ve ark, 2012; Zhao, 2013). Batı tipi bir diyetten düşük yağlı veya düşük karbonhidratlı bir diyetle geçtikten sonra farelerin vücut ağırlığı ve yağ oranı azalmış, *Mollicutes* türlerinin yoğunluğunda da önemli bir azalma gözlenmiştir (Zhang ve ark, 2012). İnsanlarda en tutarlı bulgu ise, obezlerde daha yüksek düzeyde *Escherichia coli* (*E. coli*) ve *Lactobacillus* bulunmasıdır (Cao ve ark, 2019; Klancic ve Reimer, 2020).

*Escherichia coli* tarafından salgılanan bir protein olan ClpB, iştah düzenlenmesinde rol oynadığından obez duruma katkıda bulunabilir (Fan ve Pedersen, 2020). Mekanik olarak ClpB proteini, intestinal GLP-1 ve peptit YY (PYY) salınmasını uyarır ve tokluğa neden olan beyin anoreksijenik yolları aktive eder (Cao ve ark, 2019; Fan ve Pedersen, 2020). İlginçtir ki, zararsız *E. coli*'nin çoğuna ek olarak birçok patojenik *E. coli* suşu vardır. Oysa bazı *Lactobacillus* suşları sağlığa faydaları nedeniyle probiyotik olarak kullanılmaktadır (Klancic ve Reimer, 2020). Bir meta-analiz, *L. plantarum*'un sadece hayvanlarda ve *L. gasseri*'nin ise hem obez insanlar hem de hayvanlarda kilo kaybını teşvik ettiğini ortaya koymuştur (Cao ve ark, 2019; Mojsak ve ark, 2020). Bununla birlikte, *L. reuteri*'nin obez bireylerde arttığı ve BMI ile pozitif korelasyon gösterdiği bildirilmiştir (Crovesy ve ark, 2020; Shen ve Maitin, 2015).

Hayvan modellerinde ve insan deneklerinde yapılan son araştırmalar, bağırsak mikrobiyotası ve obezite arasındaki bu ilişkiyi doğrulamaktadır (Cao ve ark, 2019; Ly ve ark, 2011). Bağırsak mikrobiyotası, obezite ve bununla ilişkili bozuklukları doğrudan yönetir (Hu ve ark, 2020; Muscogiuri ve ark, 2019; Wang ve ark, 2020). Sağlıklı bir mikrobiyotanın restorasyonunun veya yararlı bakteri türlerini artırmayı amaçlayan mikrobiyota bileşim modülasyonunun, obezitede iştah ve vücut ağırlığı yönetimi için bir strateji oluşturabileceği düşünülmektedir (Klancic ve Reimer, 2020; Legrand ve ark, 2020; Nicolucci ve ark, 2017). Bağırsak mikrobiyotasının yeni obezite tedavileri için uygun bir hedef haline getiren özelliklerinden biri, diyetle manipüle edilebilmesinin kolay olmasıdır (Cao ve ark, 2019; Klancic ve Reimer, 2020). Üstelik ilginç bir şekilde bazı bağırsak mikroorganizmaları geçmiş diyetleri hatırlayabilir ve onları yansıtan bir histerezis sergileyebilir (Klancic ve Reimer, 2020). Bu çalışmalar, açlık ve beslenme ritimlerinin bağırsak mikrobiyotasını önemli ölçüde değiştirdiğini ortaya koyan önceki çalışmalarla uyumludur (Legrand ve ark, 2020; Li ve ark, 2017; Parks ve ark, 2013). Bağırsak mikrobiyotasının diyet değişikliğine verdiği yanıtın insanlarda 1 gün kadar kısa olduğu gösterilmiştir (Araujo ve ark, 2017; Bakker ve Nieuwdorp, 2017; Rabot ve ark, 2016). Bu çalışmalar, diyet kalitesinin bağırsak mikrobiyota kompozisyonlarını ve fenotipik sonuçları belirlemede kritik olduğunu göstermektedir (Rabot ve ark, 2016).

#### 4.1. Yüksek Yağlı Diyetin Mikrobiyota Değişiklikleri ile Obeziteye Katkısı

Diyet ve obezite etkileşimlerinde mikrobiyotanın rolünü belirlemek için genetik olarak obez fare modelleri veya HFD ile indüklenen obez fareler, yaygın olarak kullanılır (Rosenbaum ve ark, 2015). Yüksek yağlı diyet, sindirilen besinlerden daha fazla enerji elde edebilen bakterilerin büyümesini destekleyerek bağırsak emilimini artırır ve obezitenin ilerlemesine katkıda bulunur (Araujo ve ark, 2017; Lin ve ark, 2016; Pascale ve ark, 2019). Yüksek yağlı diyetin bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkisine ilişkin çoğu çalışma HFD ile beslenen, ob/ob fare (ob/ob: obez fare, leptin üretiminden sorumlu gendeki mutasyonlar nedeniyle hiperfajik ve obez hale gelen mutant bir faredir) ve zayıf kontrol farelerinde *Firmicutes*'da progresif bir artış ve bifidobakterilerin ise azaldığını bildirmiştir (Bruce ve ark, 2020; Miyamoto ve ark, 2019; Nunez ve ark, 2014). Aynı zamanda HFD, *Intestinimonas*, *Christensenella*, *Desulfovibrio*, *Candidatus Saccharimonas* yükselmesine ve *Lactobacillus*, *Akkermansia* ve *Bacteroidetes* yoğunluğunun azalmasına neden

olur (Lin ve ark, 2016; Thomaz ve ark, 2020). Araştırmacılar, obez farelerin sağlıklı bir diyetten sonra tekrar HFD'ye maruz kaldığında daha hızlı kilo aldığını bildirmiştir (Klancic ve Reimer, 2020; Zmora ve ark, 2019). Yağın uzun süre fazla alımı, memelilerin distal bağırsaklarındaki mikrobiyal topluluğun bileşimini değiştirebilmektedir. Bu durum obezite ve ilgili metabolik bozuklukların gelişiminden sorumlu olabilmektedir (Zhang ve ark, 2012; Qiu ve ark, 2020). Yüksek yağlı diyet tüketiminin genel mikrobiyota çeşitliliğini ve *Verrucomicrobia* yoğunluğunu azalttığı, *Firmicutes* ve *Proteobacteria* yoğunluğunu ise artırdığı bildirilmiştir (Araujo ve ark, 2017; Thomaz ve ark, 2020). Konağın başlangıçta sağlıklı bir bağırsak mikrobiyotasına sahip olması koşuluyla, daha dengeli bir diyetle geçerek bağırsak mikrobiyota yapısında HFD kaynaklı hasarı tersine çevirmek mümkün olabilir (Zhang ve ark, 2012). Farelerde, yüksek yağlı ve yüksek şekerli 'Bati' diyeti (HFHSD) tüketimi, *Bacteroidetes* seviyelerinde düşüş ve *Firmicutes* ve *Proteobacteria*'da doza bağlı bir şekilde artışla ilişkilendirilir (Rosenbaum ve ark, 2015; Zmora ve ark, 2019). *Bacteroidetes* açısından zengin mikrobiyotanın transplantasyonu, HFD'nin neden olduğu glukoz intoleransını iyileştirmiştir. Bu veriler, bağırsak mikrobiyotasının glikoz metabolizmasının düzenlenmesinde rol oynadığını ve *Bacteroidetes* yoğunluğunun, HFD kaynaklı glikoz intoleransını önemli ölçüde modüle ettiğini göstermektedir (Rabot ve ark, 2016; Rosenbaum ve ark, 2015). Bununla birlikte, hamilelikten önce ve sonra HFD'ler kümülatif risk oluşturmaktadır. DNA metilasyon değişikliği ve mikrobiyotadaki çeşitliliğin azalması bu riskin olası araçlarıdır. Maternal obezite bir fare modeli, HFD'den sonra yavrularda daha yüksek oksidatif stres ve doğal bağışıklıkta bozulma göstermiştir (Fitzpatrick ve Dhawan, 2019).

Yüksek yağlı diyet alımı boyunca görülen değişiklikler, amino asitler ve metabolitler, Krebs döngüsü ara maddeleri, karbonhidratlar, SCFA'lar, uzun zincirli yağ asitleri, kolin ve tirozin kaynaklı bağırsak mikrobiyotası metabolitleri ile ilgilidir (Lin ve ark, 2016; Mojsak ve ark, 2020). Yüksek yağlı diyet, fekal fenilalaninin ve tirozinin yükselmesine ve triptofanın azalmasına neden olur (Lin ve ark, 2016). Obez bireylerde fenilalanin, tirozin ve triptofan biyosentezini içeren amino asit metabolizmasıyla ilişkili yollar ve glutamin/glutamat taşıma sistemi modülleri arttığı için obez bireylerin mikrobiyotasında aromatik amino asit (AAA) ve dallı zincirli amino asit (BCAA) üretme potansiyeli daha yüksek olabilmektedir (Liu ve ark, 2017). Bu durum, obez insan mikrobiyotası nakledilen farelerde daha yüksek çekal BCAA seviyeleri ile tutarlı olup, obez bireylerin mikrobiyotasının daha yüksek bir karbonhidrat kullanımı kapasitesine ve AAA ve BCAA'nın yanı sıra proinflatuar faktörlerin üretimi için daha yüksek bir kapasiteye sahip olabileceğini göstermektedir (Cao ve ark, 2019; Liu ve ark, 2017). Yüksek yağlı diyet alımıyla bağırsak bakterisinden türetilen BCAA'lar, insan ve kemirgenlerde insülin direnci ile ilişkili olabilir (Fan ve Pedersen, 2020; Qiu ve ark, 2020). Bununla birlikte HFD, farelerde bağırsak mikrobiyota disbiyozuna neden olarak sistemik endotoksemi ve inflamasyon gelişimini desteklemektedir (Dong ve ark, 2016; Luck ve ark, 2019). Yüksek yağlı diyet ile bağırsak mikrobiyotasının bozulması; bağırsak mikrobiyal kompozisyonunda ve spesifik bakteri taksonlarında değişikliklere neden olur ve böylece obezite gelişiminde rol oynar (Miyamoto ve ark, 2019; Rabot ve ark, 2016; Upadhyay ve ark, 2012). Yüksek yağlı diyet ile beslenme obeziteye neden olur ancak bireysel tepkiler büyük ölçüde farklılık gösterir (Lin ve ark, 2016; Rabot ve ark, 2016). Yapılan çalışmalar, HFD

beslenmesinin bağırsak mikrobiyotasının bileşimini güçlü bir şekilde etkilediğini, ancak bazı taksonların HFD beslenmesine direnç gösterdiğini bildirmiştir (Ballini ve ark, 2020; Rabot ve ark, 2016). Obezite ile ilişkili hastalıkların gelişiminde rol oynayan HFD ile indüklenen değişikliklerin muhtemel iki farklı yolla olduğu gösterilmiştir (Upadhyay ve ark, 2012; Zhang ve ark, 2012). Birincisi, HFD beslenmesine yanıt olarak bağırsak mikrobiyotasının değişen üyeleri, konağın besinlerden daha fazla enerji toplamasına izin verebilmektedir (Upadhyay ve ark, 2012; Zhang ve ark, 2012). İkincisi, HFD ile bozulmuş bir bağırsak mikrobiyotası ve obezite ile ilişkili bozuklukların altında yatan birincil patolojik durum olan inflamasyon olduğu öne sürülmüştür (Zhang ve ark, 2012).

## 4.2. Mikrobiyotanın Kilo Alımı için Gerekliliği

Bağırsak mikrobiyotası, kilo alımı için çok önemlidir (Upadhyay ve ark, 2012). Mikroorganizma içermeyen farelere (GF) dışkı nakli çalışmaları, obezite ve obezite ile ilgili bozuklukların gelişiminde bağırsak mikrobiyotasının nedensel rolüne işaret eder (Everard ve Cani, 2013; Muscogiuri ve ark, 2019; Moran ve Shanahan, 2014). Mikroorganizma içermeyen fareleri, insan mikrobiyotası ile transplante edilen insanlaştırılmış gnotobiyotik fare modelidir ancak, bu modelde dahi insan mikrobiyotasının bazı üyeleri, nakledilen fareyi kolonize etmez (Zmora ve ark, 2019). Bu sınırlamalara rağmen mikrobiyotanın konakçı sağlığı üzerindeki nedensel etkilerini incelemek için mevcut en iyi model olarak hizmet eder ve birçok yönden insan fizyolojisi ile ilgili önemli bir model oluşturur (Rosenbaum ve ark, 2015; Zmora ve ark, 2019).

Mikrobiyota, yağ kütlesi gelişiminde önemli bir rol oynar (Everard ve Cani, 2013; Rosenbaum ve ark, 2015). Yüksek yağlı diyet ile beslenen GF fareleri, inflamasyondan korunmuş ve aynı diyetle beslenen geleneksel olarak yetiştirilmiş farelere göre azalmış adipozite sergilemiştir (Klancic ve Reimer, 2020; Rabot ve ark, 2016; Zhao, 2013). GF fareleri, besin alımının artmasına rağmen geleneksel olarak yetiştirilmiş farelere göre daha az vücut yağı geliştirir (Everard ve Cani, 2013; Moran ve Shanahan, 2014; Rabot ve ark, 2016). Bununla birlikte, GF fareleri obez farelerin mikrobiyotası ile transplante edildiğinde, 2 hafta içinde obez hale gelmiştir (Mojsak ve ark, 2020; Schroeder ve Backhed, 2016; Qiu ve ark, 2020). Bu durum, bağırsak mikrobiyotasının farelerde obezitenin gelişiminde merkezi bir role sahip olduğunu düşündürür (Rabot ve ark, 2016; Zhao, 2013; Qiu ve ark, 2020). Üstelik bağırsak mikrobiyotasının yokluğu, Batı diyetinin neden olduğu obeziteye karşı fareleri korumuş ve metabolik sendroma duyarlılığı azaltmıştır (Klancic ve Reimer, 2020; Ly ve ark, 2011; Upadhyay ve ark, 2012). Sonuçlar, bağırsak mikrobiyotasının sistemik işlevlere ve yaygın hastalıklara katkıda bulunduğu kavramı ile tutarlıdır (Parks ve ark, 2013). GF farelerinde belirlendiği üzere obezitenin temel nedeni olarak, morbid obez bir gönüllüden fırsatçı bir patojen olan *Enterobacter cloacae* B29 bildirilmiştir (Shen ve Maitin, 2015; Zhao, 2013). Bununla birlikte, sonuçlar, sadece yüksek yağla beslenen +B29 farelerinde obezite geliştirdiğini göstermiştir, bu da diyetin obezite gelişiminde zorlayıcı faktör olduğunu düşündürür (Parks ve ark, 2013; Shen ve Maitin, 2015).

Araştırmacılar, GF farelerinde diyetle indüklenen obeziteyi (DIO) önleyen başka bir mekanizmanın, adenosin monofosfat (AMP) ile aktive olan protein kinaz (AMPK) yolu olduğunu öne sürmüştür (Rosenbaum ve ark, 2015; Shen ve Maitin, 2015).



Şekil 1. Obezite ve mikrobiyota arasındaki ilişkinin altında yatan mekanizmalar

GF farelerinin DIO' ya karşı direnci kısmen, periferik dokulardaki artan AMPK aktivitesi ve AMPK kaynaklı yağ asidi oksidasyonuna bağlı olabilir (Nunez ve ark, 2014; Shen ve Maitin, 2015). Bağırsak mikrobiyotasının AMPK aktivitesi üzerindeki baskılayıcı etkisinin mekanizması hala belirsiz olsa da bağırsak mikrobiyotasının fermentasyonu tarafından üretilen bütiratın, AMPK aktivitesini düzenlediği bilinmektedir (Parks ve ark, 2013; Shen ve Maitin, 2015). Bağırsak mikrobiyotasının; obeziteyle ilgili metabolik durumlar üzerindeki etkisi üç mekanizma üzerinden açıklanır (Miyamoto ve ark, 2019; Shen ve Maitin, 2015). Bu mekanizmalar: enerji ekstraksiyonu, iştah regülasyonu ve inflamasyonunu içerir (Zmora ve ark, 2019). Bu düzenleyici süreçlerin her birinin merkezinde, konakçı, mikrobiyota ve diyet arasındaki karmaşık ve dinamik etkileşim yer alır (Parks ve ark, 2013). Mikroorganizmalar, konakçının hücresele reseptörleriyle spesifik etkileşimler yoluyla veya genel kan dolaşımına girerek konakçı metabolizması üzerinde istenilen veya istenmeyen etkiler gösterebilir (Miyamoto ve ark, 2019).

### 4.3. Mikrobiyota ve Diyet Enerjisi

Bağırsak mikrobiyotasının; yağ depolanmasında, depolanabilir yağ sentezi için substrat oluşumunun modüle edilmesinde ve enerji ekstraksiyonunda önemli bir rolü vardır (Cao ve ark, 2019; Muscogiuri ve ark, 2019). Yapılan çalışmalarda obez bireylerde, bağırsak mikrobiyotasının enerji ekstraksiyon kapasitesinin düşük ağırlıklı kişilere göre belirgin şekilde arttığı bildirilmiştir (Lane ve ark, 2020; Rosenbaum ve ark, 2015). Normal bağırsak mikrobiyotasına sahip farelere %30 daha az kalori verilse dahi, GF farelerinin normal farelere göre daha zayıf kalması, bağırsak mikrobiyotasının bu rolünü destekler (Ly ve ark, 2011). Diyetten enerji verimini önemli ölçüde etkileyen bağırsak mikrobiyotası, sindirilemeyen diyet polisakaritlerinin fermentasyonu ile konakçı enerji ekstraksiyonunu artırır (Moran ve Shanahan, 2014). Besinlerden enerji ekstraksiyonu ve SCFA gibi spesifik metabolitlerin üretilmesi; beyin-bağırsak eksenini yoluyla tokluğun modülasyonu ve inflamasyon üzerindeki etkileri içerir (Cao ve ark, 2019; Mojsak ve ark, 2020). Ek olarak, bağırsak mikrobiyotası, enflamatuar hasarı ve insülin direncini arttıran, böylelikle obezite ile ilişkili komplikasyonların gelişimine katkıda bulunan sistemik dolaşıma bileşikler üretir (Muscogiuri ve ark, 2019; Rosenbaum ve ark, 2015). Böylelikle, bağırsak mikrobiyotası, bir yandan, insanlara zarar veren lipopolisakarit (LPS) gibi toksinleri, bir yandan da insanları beslemek için vitamin ve SCFA gibi faydalı metabolitleri serbest bırakır (Cao ve ark, 2019; Mojsak ve ark, 2020; Qiu ve ark, 2020). Kısa zincirli yağ

asitleri (asetat, bütirat ve propiyonat) bağırsak mikrobiyotası tarafından parçalanmış substratlardan elde edilen temel fermentasyon ürünleri olup bağırsak sağlığı için önemlidir (Dong ve ark, 2016; Pascale ve ark, 2019; Wang ve ark, 2020). Kısa zincirli yağ asitleri; yağ dokusu, karaciğer ve iskelet kasları gibi periferik dokular üzerinde faydalı etkiler sergiler ve bu da insülin duyarlılığında iyileşmeyi sağlar (Cao ve ark, 2019; Pascale ve ark, 2019). Bununla birlikte, mukus üretimi ve sıkı bağlantıların uyarılması yoluyla bağırsak bariyer fonksiyonunu etkilerler (Fan ve Pedersen, 2020; Moran ve Shanahan, 2014; Wang ve ark, 2020). Toplam enerji ihtiyacının %6-10'unu SCFA'dan sağlanır (Fan ve Pedersen, 2020; Moran ve Shanahan, 2014). Kısa zincirli yağ asitleri, konak için bir enerji kaynağı olmanın yanı sıra mikrobiyota ve konakçı arasındaki iletişimde ayrılmaz bir rol oynar. (Moran ve Shanahan, 2014). Propiyonat ve asetat, bağırsak ve karaciğerde glukoneojenez ve lipojeniz için substrat olarak işlev görür (Faintuch J. ve Faintuch S., 2019; Klancic ve Reimer, 2020). Bununla birlikte, farelerde bir adiposit hücre hattında adipogenezini uyararak adipoz dokusundan leptin salımını arttırmaktadırlar (Wang ve ark, 2020). Propiyonattaki artış kilo alımını azaltarak obeziteye karşı savunma sağlar (Faintuch J. ve Faintuch S., 2019). Asetat; karaciğerde lipid ve kolesterol sentezine katkıda bulunurken, propiyonatın asetatın etkilerini inhibe ettiği ve serum kolesterolü düşürdüğü bilinmektedir (Dong ve ark, 2016; Hu ve ark, 2020). Bununla birlikte asetat, obeziteyi teşvik edici obezojenik özelliklere sahip olabilir. Çünkü farelerde değiştirilmiş bir bağırsak mikrobiyotası, asetat üretimini artmasına neden olmaktadır. Asetat; ghrelin hormonu salgılanması yoluyla hiperfajiyi teşvik ederek insülin salgılanmasını ve yağ depolanmasını arttırmaktadır (Fan ve Pedersen, 2020; Schroeder ve Backhed, 2016; Zmora ve ark, 2019). Bütirat ise, müsin ve klauidin-1'in transkripsiyonunu artırarak bağırsak bariyer bütünlüğünü geliştirmekte ve böylelikle bağırsak geçirgenliğini azaltmaktadır (Dong ve ark, 2016; Pascale ve ark, 2019; Wang ve ark, 2020). Üstelik proinflamatuar sitokinlerin üretimini inhibe etmektedir. Bağırsak immün homeostazının sürdürülmesinde, inflamasyon ve kansinogeneze karşı korumada önemli bir role sahiptir. Yüksek yağlı diyet ile beslenen farelerin diyetini bütirat ile desteklemek, DIO, insülin direnci ve artan enerji harcamasını önlemiştir (Zmora ve ark, 2019; Wang ve ark, 2020). Bütirat ve propiyonatın birlikte bağırsak glukoneojenezini aktive ettiği gösterilmiştir. Bu durum enerji homeostazında yağ ve vücut ağırlığının azalması gibi metabolik faydalar ve hepatik glikoz üretiminde azalma gibi daha iyi bir glikoz kontrolü ile sonuçlanır (Klancic ve Reimer, 2020; Pascale ve ark, 2019; Schroeder ve Backhed, 2016). Bununla birlikte, anoreksijenik



hormonları ve leptin sentezini uyararak ağırlıklı olarak anti-obezojeniktirler (Fan ve Pedersen, 2020). Kısa zincirli yağ asitleri G-protein-bağlı reseptör GPR41'e (FFAR3 olarak da bilinir) bağlanarak ve etkinleştirilerek metabolik yolları düzenler, bağırsak hareketliliğini inhibe eder ve enerji ekstraksiyonunu artırır (Hu ve ark, 2020; Klancic ve Reimer, 2020; Wang ve ark, 2020). Kısa zincirli yağ asitlerinin üretiminin artması, iştahı düzenleyen ve besin alımını engelleyen PYY lipogenezini ve salgılanmasını etkilediği bilinmektedir (Dong ve ark, 2016; Klancic ve Reimer, 2020; Moran ve Shanahan, 2014). Böylece SCFA'lar, önemli bir enerji kaynağı olduğu kadar bağırsak hareketliliği, iştah ve yağ depolanmasının düzenlenmesinde önemli araçlardır (Bakker ve Nieuwdorp, 2017). Doğunluğu etkileme ve düşük dereceli inflamasyonu düzenleme yeteneği, SCFA'nın diyet, obezite ve obezite ilgili bozukluklar ve bağırsak mikrobiyotası arasında bağlantı kurabileceğini düşündürür (Moran ve Shanahan, 2014). Ancak, doymuş yağ açısından zengin bir diyet alan insanlarda ve batı diyetiyle beslenen obezlerde SCFA konsantrasyonları yüksektir (Faintuch J. ve Faintuch S., 2019; Klancic ve Reimer, 2020). Obezitede görülen yüksek dışkı SCFA'sı, SCFA'ların bilinen yararlı etkileri ile çelişiyor gibi görülmekte daha yüksek seviyelerin, bağırsak emiliminin azalmasından ziyade kolon enerji ekstraksiyonunun artmasından kaynaklandığı bildirilmiştir (Araujo ve ark, 2017; Klancic ve Reimer, 2020). Bağırsak mikrobiyotası, bir lipoprotein lipaz inhibitörü olan intestinal anjiyopietin benzeri 4 (Angptl4)'ün transkripsiyonunu baskılayabildiğinden, SCFA'dan elde edilen fazla kaloriler daha sonra beyaz yağ dokusunda (WAT) depolanır ve bu, adipositlerde lipitlerin artmasına neden olur (Bakker ve Nieuwdorp, 2017; Schroeder ve Backhed, 2016). Artan enerji ekstraksiyonu, konakçı için daha fazla kullanılabilir enerji sağlar, dolayısıyla kilo alımı ve yağlanmaya yol açarak obeziteye neden olur (Araujo ve ark, 2017; Lin ve ark, 2016; Zmora ve ark, 2019). Obez bir bireyin bağırsak mikrobiyotası, zayıf bir bireyin bağırsak mikrobiyotasına kıyasla, belirli bir diyetten daha verimli enerji ekstraksiyonu ve/veya depolanmasını sağlayabileceği fikrinin öne sürülmesi, araştırmacıları bu süreçleri belirlemeye teşvik etmiştir (Klancic ve Reimer, 2020; Shen ve Maitin, 2015). Böylelikle araştırmacılar iki anahtar mekanizma ortaya çıkarmıştır. Bunlardan birincisi, sindirilemeyen diyet bitki polisakaritlerinin bakteriyel glikozit hidrolazlar tarafından parçalanması; ikincisi ise açlıkla indüklenen adipoz faktörü (FIAF) veya Angptl4 olarak adlandırılan bir lipoprotein lipaz (LPL) inhibitörünün bağırsak gen ekspresyonunu baskılamasıdır (Bakker ve Nieuwdorp, 2017; Shen ve Maitin, 2015). Obezitede görülen bağırsak mikrobiyotasının bileşimindeki değişiklikler, FIAF'nün ekspresyonunu azaltır; bu dolaşımdaki bir LPL inhibitörü olduğundan, yağ depolanmasının artmasına yol açmaktadır. Sonuç olarak; bağırsak mikrobiyotası, diyetten enerji ekstraksiyonunun düzenlenmesinde rol oynamaktadır. Enerji alımının anormal düzenlenmesinden kaynaklanan obezite için hem anormal mikrobiyal kompozisyon hem de aşırı diyet alımı vücut yağ birikimini artırarak yağlanmaya neden olabilir (Muscogiuri ve ark, 2019). *Firmicutes*, *Rhizobium*, *Lactococcus* ve *Clostridium* gibi obezojenik bağırsak mikrobiyotası, obezitenin gelişimini, SCFA'ların üretilmesi, konakçı için ekstra enerji sağlayarak ve metabolitlerin neden olduğu inflamasyon yoluyla da obeziteye yol açmaktadır (Cao ve ark, 2019).

#### 4.4. Mikrobiyota ve Bağırsak Hormonları

Bağırsak mikrobiyotası, besin alımını bağırsak hormonları aracılığıyla gerçekleştirebilir. Bağırsak hormonları; farklı

metabolik ve nöronal devreler aracılığıyla iştah ve enerji harcanması arasında ince ayarlara sahiptir, sindirim, emilim ve besin alımı gibi süreçlerde rol oynamaktadır (Mishra ve ark, 2016). Beyne "aç" veya "tok" sinyalini ileten bir dizi bağırsak hormonu vardır (Wang ve ark, 2020). Kolesistokinin (CCK) ve GLP-1 doyma ile ilgili bağırsak hormonlarıdır ve "tokluk" sinyalini iletirler. Bununla birlikte, PYY ve glikoza bağımlı insülinotropik polipeptid (GIP) de "doğunluk" hissi verirken, mide hücreleri tarafından salgılanan ghrelin "açlık" sinyalini iletir (Mishra ve ark, 2016; Shen ve Maitin, 2015). Glukagon benzeri peptid 1 ve PYY salgılayan enteroendokrin L hücreleri aynı zamanda SCFA reseptörleri olan GPR41 ve GPR43'ü barındırır. Bu durum kolonik SCFA üretimi ile iştah veya besin alımı arasında bir ilişki olduğunu destekler. Bu sayede SCFA'lar, HFD beslenmesinin neden olduğu vücut ağırlığı artışını önleyebilir (Wang ve ark, 2020). Birçok çalışma, GPR41 ve GPR43 ekspresyonundaki artışların serum lipitlerini ve obeziteyi azaltabileceğini kanıtlamıştır (Hu ve ark, 2020; Muscogiuri ve ark, 2019). Bu gözlemleri destekleyerek, yüksek karbonhidratlı, yüksek yağlı diyetlerle beslenen GPR43 eksikliği olan fareler, diğer farelere göre daha düşük vücut kütlesi ve daha yüksek yağsız kütle geliştirmiştir (Muscogiuri ve ark, 2019). Besin alımını etkileyen hormonlarla etkileşimlere ek olarak, bağırsak mikrobiyotasının ortaya çıkardığı mikrobiyal metabolitler, iştah düzenlenmesini etkileyerek diyetle ilişkili obezite ve diyabet için güçlü araçlar olarak hizmet edebilirler (Pascale ve ark, 2019). Bağırsak mikrobiyotası ve metabolitleri, mikrobiyota-bağırsak-beyin eksenini, endokannabinoid sistem (eCb) ve safra asidi (BA) metabolizmasındaki bazı değişikliklere aracılık ederek obezite ve obezite ile ilgili bozukluklara neden olur (Mojsak ve ark, 2020; Wei ve ark, 2020). Mikrobiyota tarafından üretilen metabolitler; enterohepatik dolaşım, emilim veya bağırsak bariyer fonksiyonunun bozulması durumunda kan dolaşımına girebilir. Bununla birlikte antienflamatuar, antioksidan ve ağrı giderme aktivitesi ile vitamin, enerji kaynakları ve bağırsak bariyeri düzenlenmesi dahil olmak üzere konakçı üzerinde olumlu etkilere sahip olabilirler. Bununla birlikte, mikrobiyotadan türetilmiş diğer metabolitler; genotoksinler, sitotoksinler ve immünotoksinler konakçılar için toksiktir (Zhao ve ark, 2013). Bu nedenle obezitenin yönetimine yönelik olası terapötik yaklaşımda önerilen mekanizma, bağırsak mikrobiyal organizmaları tarafından üretilen metabolitlere atfedilir (Mishra ve ark, 2016). Yiyecek alımını ve obeziteyi düzenleyen bir başka faktör, bağırsak mikrobiyotası ile doğuştan gelen bağışıklık sistemi arasındaki etkileşimdir (Thomaz ve ark, 2020).

#### 4.5. Mikrobiyota, İnflamasyon ve Bağışıklık

Mukozaal bağışıklık, mikrobiyota ile hassas bir denge içindedir ve bu durum simbiyoz konakçı sağlığına katkıda bulunur (Rosenbaum ve ark, 2015; Upadhyay ve ark, 2012). Sağlıklı bağırsak epitelyumu; besinlere ve temel makromoleküllere karşı geçirgenken, LPS dahil olmak üzere toksik makromoleküllerin, bakterilerin ve lüminal antijenlerin translokasyonunu engeller (Moran ve Shanahan, 2014). Bağırsak bariyer işlevi; sıkı bağlantı proteinlerinin (klaudin, ZO-1 ve okludin) uygun lokalizasyonu, normal bir eCB sistem tonu ve bağırsak alkalın fosfataz ile LPS detoksifikasyonu gibi çeşitli mekanizmalar aracılığıyla sürdürülür. Bu sayede enerji, lipid ve inflamatuvar homeostaz korunur (Everard ve Cani, 2013). Bağırsak bariyerinde işlev bozuklukları, konağı yüksek seviyelerde LPS'e maruz bırakarak proinflamatuvar sitokinlerin özellikle tümör nekrozis faktörü alfa (TNF- $\alpha$ ) ve interlökin 6 (IL-6) üretimini teşvik eder (Kim ve ark, 2017; Pascale ve ark,



2019). TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$  ve IL-6 gibi proinflamatuvar sitokinlerin aşırı üretimi; kronik inflamasyon gelişimini indükler (Wang ve ark, 2020). Plazma LPS konsantrasyonlarında iki ile üç kat artış "Metabolik endotoksemi" olarak adlandırılır ve obezite, insülin direnci, diyabet ve ateroskleroz gibi çeşitli kronik hastalıkların patolojisinde rol oynar (Nicolucci ve ark, 2017; Rabot ve ark, 2016; Zhao, 2013). Obeziteyle ilişkilendirilen düşük dereceli sistemik inflamasyon LPS'nin bağırsak lümeninden dolaşıma translokasyonundan kaynaklanır (Ly ve ark, 2011; Moran ve Shanahan, 2014; Schroeder ve Backhed, 2016). Bakteriyele translokasyon artan bağırsak geçirgenliğine neden olarak ince bağırsakta bakteriyel popülasyonların aşırı üremesine aracılık eder (Bakker ve Nieuwdorp, 2017; Toubal ve ark, 2020; Qiu ve ark, 2020). Mikrobiyota bileşiminde Gram negatif bakteri türlerinin baskınlığına yönelik değişiklikler, bağırsak endotelindeki sıkı bağlantılarda protein yapısını değiştirerek bağırsak geçirgenliğini ve lipopolisakkarit gibi bakteriyel endotoksinlerin CD14 yoluyla emilimini arttırabilir (Fan ve Pedersen, 2020; Muscogiuri ve ark, 2019). Mevcut veriler, Gram negatif fırsatçı patojenlerin ürettiği LPS'in hem kemirgenlerde hem de insanlarda obezitenin başlangıcında ve ilerlemesinde önemli bir role sahip olduğunu gösterir (Everard ve Cani, 2013; Bakker ve Nieuwdorp, 2017; Hu ve ark, 2020). Epidemiyolojik çalışmalar, obez bireylerin zayıf bireylere göre daha yüksek plazma LPS, LPS bağlayıcı protein (LBP) ve proinflamatuvar sitokin konsantrasyonlarına sahip olduğunu göstermiştir. Klinik çalışmalarda kilo kaybı, serum LBP ve enflamatuvar protein seviyelerini düşürmüştür (Moran ve Shanahan, 2014; Zhao, 2013). Lipopolisakkarit, Toll benzeri reseptör 4'e (TLR4) bağlanarak CD14'ü etkinleştirebilir (Upadhyay ve ark, 2012). LPS/CD14 yolu, hematopoietik hücrelerde kilo alımını ve adipoziteyi, WAT makrofajlarında inflamatuvar belirteçlerin yükselmesine neden olarak insülin duyarlılığını azaltır ve obeziteyi teşvik eder (Hu ve ark, 2020; Quiroga ve ark, 2020). Yüksek yağlı diyet ile beslenen farelerin dolaşımdaki LPS seviyeleri önemli derecede artmış ve bu farelerin obez hale geldiği gözlenmiştir (Ly ve ark, 2011; Nicolucci ve ark, 2017; Zhao, 2013). Yüksek yağlı diyetle maruziyet zamanla, ana enflamatuvar sinyalleri (örneğin, toll benzeri reseptör-4) aktive eder, böylece ince bağırsakta proinflamatuvar sitokinlerin salgılanmasını uyarır (Araujo ve ark, 2017; Rosenbaum ve ark, 2015). Bu enflamatuvar durum ve HFD'nin spesifik bağırsak bariyeri koruyucu bakterilerin prevalansını azaltması ince bağırsağın epitel geçirgenliğini artırabilmektedir. Böylece LPS geçişini kolaylaştırır ve sistemik inflamasyon, obezite, insülin direnci ve glikoz intoleransının gelişimine neden olur (Araujo ve ark, 2017; Rabot ve ark, 2016; Zhang ve ark, 2012). Yüksek yağlı diyet ile beslenen farelerde gözlemlenen seviyelere ulaşmak için LPS ile aşılana farelerde obezite ve obezite ile ilişkili metabolik bozukluklar görülmüştür (Klancic ve Reimer, 2020; Ly ve ark, 2011). Diyet kaynaklı LPS aracılı metabolik hastalıklar için ortak bir reseptör olan CD14 gereklidir. Metabolik hastalığı tedavi etmek için CD14'ün sistemik bloke edilmesi düşünülse de uygun bir seçenek olmayabilir. Çünkü epitelyal yüzeylerde mikrop-konakçı homeostazı kesintiye uğrayarak bakteriyel infeksiyon riskini arttırabilir (Schroeder ve Backhed, 2016; Rosenbaum ve ark, 2015). Bununla birlikte, LPS detoksifikasyonunda rol oynayan bağırsak alkalın fosfat (IAP), bağırsak mikrobiyotası tarafından düzenlenir ve azalması metabolik endotoksemi ve obezite ile ilişkilendirilir (Everard ve Cani, 2013; Moran ve Shanahan, 2014). Görüldüğü gibi obezite, bağırsak mikrobiyotasındaki ve bağırsıklığındaki değişikliklerle ilişkilidir

(Hu ve ark, 2020; Moran ve Shanahan, 2014; Nunez ve ark, 2014).

Bağırsak mikrobiyota disbiyozunun, obezite gelişiminde anahtar bir rol oynadığını gösteren kanıtlar artmaktadır (Cao ve ark, 2019; Dong ve ark, 2016; Liu ve ark, 2017; Nunez ve ark, 2014). Mikrobiyota disbiyozu, obezitenin bir sonucu olduğu kadar aynı zamanda itici bir gücüdür (Araujo ve ark, 2017; Everard ve Cani, 2013; Toubal ve ark, 2020). Obezite ve batı diyetinin indüklediği disbiyoz, bağırsak bariyerini zayıflatarak bağırsak lümeninden translokasyonu tetikleyebilir ve bakteriyel endotoksinlerin üretimini sağlar. Böylelikle sistemik inflamasyona katkıda bulunur (Biyong ve ark, 2020; Palmas ve ark, 2021; Çatak, 2020). Bununla birlikte disbiyoz; BA bileşimini şekillendirir ve bu da önemli BA sinyalinin değiştirilerek konakçı metabolizmasını etkileyebilir (Klancic ve Reimer, 2020; Wei ve ark, 2020). Yakın zamanda yapılan araştırmalar, obezitede görülen disbiyozun düşük enerjili bir diyetle birkaç aya kadar değiştirilebileceğini belgelemiştir (Muscogiuri ve ark, 2019). Kilo kaybının, gen zenginliğini ve klinik fenotipi iyileştirdiği, ancak başlangıçta daha düşük mikrobiyal gen zenginliğine sahip kişilerde inflamasyon belirteçlerini azaltmada daha az etkili olduğu bildirilmiştir (Muscogiuri ve ark, 2019; Rosenbaum ve ark, 2015). Bağırsak mikrobiyotası, eCB sistemini modüle eder (Everard ve Cani, 2013; Lin ve ark, 2016; Wang ve ark, 2020). Bağırsak eCB sistemi; bağırsak hareketliliği, iştah dâhil olmak üzere çeşitli fizyolojik süreçleri düzenler ve mikrobiyota-bağırsak-beyin eksenini yoluyla metabolizmanın düzenlenmesi sayesinde enerji homeostazında önemli bir rol oynar (Moran ve Shanahan, 2014). Bununla birlikte eCB sistem, bağırsak geçirgenliğini ve plazma LPS seviyelerini düzenleyebilmekte ve kannabinoid kaynaklı adipogenezini bloke ederek yağ dokusu metabolizmasını kontrol edebilmektedir (Zhao, 2013; Wang ve ark, 2020). Obezite artmış eCB ile ilişkilidir (Moran ve Shanahan, 2014). Mikrobiyotadaki değişiklikler bağırsaktaki eCB sistemini aktive eder (Lin ve ark, 2016; Wang ve ark, 2020). Bu mekanizma, plazma LPS düzeylerini arttıran ve bağırsak bariyerinin bozulmasını şiddetlendiren bağırsak geçirgenliğini arttırmaya neden olur. Artmış eCB, artan LPS seviyeleri ile birlikte adipogenezin artmasına katkıda bulunur (Muscogiuri ve ark, 2019; Wang ve ark, 2020).

Özetle; bağırsak mikrobiyotasının obezite ve ilgili metabolik hastalıkların patogeneze katkıda bulunabileceği mekanizmalar şunları içerir: 1) Karbonhidratları fermente eden ve SCFA biyosentez oranlarının artmasına yol açan yüksek miktarda bakteri, konakçı için ekstra bir enerji kaynağı oluşturarak lipid olarak depolanmasına neden olur, 2) Bağırsak geçirgenliğinin artması, düşük dereceli inflamasyon ve insülin direncini şiddetlendiren yüksek sistemik LPS seviyeleri ile sonuçlanır, 3) Bağırsak eCB sisteminin artan aktivitesidir (Everard ve Cani, 2013; Cao ve ark, 2019; Muscogiuri ve ark, 2019; Lin ve ark, 2016; Wang ve ark, 2020).

## 5. Mikrobiyotayı Modüle Etmeye Yönelik Yaklaşımlar

Bağırsak mikrobiyotası ve obezite etkileşimlerinin belirlenmesiyle, obeziteyi yöneterek metabolik sağlığı iyileştirmek için mikrobiyotayı modüle edecek diyet yaklaşımlarına ilgi artmıştır (Kim ve ark, 2017; Klancic ve Reimer, 2020). Probiyotik, prebiyotik vb. diyet bileşenleri, konakçı fizyolojisini olumlu bir şekilde etkileyerek

mikrobiyotayı modüle etmeye yönelik faydalı stratejiler sağlar (Everard ve Cani, 2013; Nicolucci ve ark, 2017; Zhang ve ark, 2015). Bununla birlikte bağırsak mikrobiyotası, obezite karşıtı fonksiyonel besinler geliştirmek için umut verici bir hedefdir (Cao ve ark, 2019).

## 5.1. Probiyotik

Probiyotikler, genellikle diyetle fermente süt ürünleri ve içecekleri yoluyla tüketilen, konakçı sağlığını destekleyen canlı mikroorganizmalardır (Nunez ve ark, 2014; Rosenbaum ve ark, 2015). Probiyotikler, kan dolaşımına LPS'in translokasyonunu önler ve bu sayede kronik inflamatuvar ortamı önlemeye katkıda bulunur (Muscogiuri ve ark, 2019). Metabolik sendromla ilişkili kandaki bazı biyokimyasal parametreleri düzenler (Kim ve ark, 2017; Rosenbaum ve ark, 2015). Probiyotiklerin obez konakçılara uygulanması, obezite tarafından değiştirilen mukozal bağırsıklığı ve bağırsak mikrobiyotasını iyileştirir (Kim ve ark, 2017; Nunez ve ark, 2014; Sergeev ve ark, 2020). Örneğin, *Lactobacillus casei*, obez farelerde karaciğer ve ince bağırsak histolojisini iyileştirmiş, ince bağırsakta IgA hücre ve makrofaj sayısını arttırmıştır (Nunez ve ark, 2014; Sergeev ve ark, 2020). Bununla birlikte kemirgenlerde, bazı *Lactobacillus* türü suşların sitokin üretimini indüklediği ve toplam IgE üretimini baskıladığı bilinmektedir (Ly ve ark, 2011). Probiyotiklerin obezite ve metabolik hastalıklar üzerindeki etkilerini vücut ağırlığı, lipid düzeyleri ve hepatik metabolizmayı dikkate alarak gösteren birçok çalışma bulunmaktadır (Nunez ve ark, 2014). Örneğin, 12 hafta boyunca *L. gasseri* SBT2055 içeren probiyotik yoğurt tüketimi; vücut ağırlığı, BMI ve yağ kütlelerinde azalmayı sağlamıştır (Moran ve Shanahan, 2014). Ayrıca bu suşun, HFD ile beslenen farelerde proinflamatuvar gen ekspresyonunu önlediği ve adiposit boyutunu düşürerek anti-obezite etki gösterdiği bildirilmiştir (Mishra ve ark, 2016; Nunez ve ark, 2014). *Lactobacillus curvatus* HY7601 ve *L. plantarum* KY1032 ile tedavi edilen DIO farelerinin, yağ dokusu azalmış ve pro-inflamatuvar genlerin aşağı regülasyonu gözlenmiştir (Crovesy ve ark, 2020; Moran ve Shanahan, 2014). Probiyotikler bu nedenle bakteriyeminin neden olduğu metabolik bozuklukları yönetmek için umut verici bir yaklaşım olabilir (Kim ve ark, 2017; Shen ve Maitin, 2015). On iki hafta boyunca *L. paracasei* ve *L. rhamnosus* uygulanan HFD ile bozulmuş bağırsak mikrobiyotasının tedavisine dayalı yapılan insan çalışmalarında, probiyotiklerin metabolik fonksiyonları iyileştirmek için bağırsak mikrobiyotasını değiştirebileceği gösterilmiştir (Crovesy ve ark, 2020; Kim ve ark, 2017). *Lactobacillus paracasei* ve *L. plantarum* antibakteriyel etkiye sahip bakteriyosinler üreterek disbiyozu neden olan bakteriyel patojenlerin üremesini önlediği bildirilmiştir (Crovesy ve ark, 2020). Randomize, çift kör kontrollü bir araştırmada, *L. rhamnosus*'un doğum öncesi ve sonrası uygulamasıyla elde edilen verilerden yola çıkarak probiyotiklerin aşırı kilo alımını sınırladığı ve çocuğun büyüme modelini değiştirebileceği bildirilmiştir (Ly ve ark, 2011). *Bifidobacterium infantis* 35624'ün ise çeşitli hasta gruplarında ekstra-intestinal konakçı inflamatuvar süreçleri modüle ettiği gösterilmiştir (Moran ve Shanahan, 2014). Probiyotik *Bifidobacterium animalis ssp. Lactis* suşu ile tedavi translokasyon yapan bakteri miktarını azaltmış ve tedavi olmayan farelere kıyasla insülin duyarlılığını önemli ölçüde iyileştirmiştir. Bu da mikrobiyotanın etkisini ortaya koymuştur (Sergeev ve ark, 2020; Schroeder ve Backhed, 2016). Obez farelere probiyotik uygulama, kolesterol konsantrasyonlarında önemli düşüşler sağlamıştır (Nunez ve ark, 2014). Kommensal *Hafnia alvei* suşu, hiperfajik ve obez

farelerde besin alımını ve yağ kütlelerini azalttığından iştah ve vücut ağırlığı yönetimi için yeni bir potansiyel probiyotik olarak düşünülmektedir (Legrand ve ark, 2020). *Bacillus natto*, obezite ve metabolik bozuklukları önlemek için potansiyel probiyotik olarak bildirilmiştir (Wang ve ark, 2020). Probiyotikleri içeren pek çok klinik araştırma, obezitenin bir sonucu olarak gelişen patojenik durumun hafifletilmesine yönelik umut verici bir sonuç üretmiştir (Mishra ve ark, 2016). Bu çalışmalar, obez bireylerde vücut ağırlığını azaltmak ve obezite ile değiştirilen biyokimyasal ve immünolojik parametreleri iyileştirmek için probiyotiklerin potansiyel kullanımını göstermektedir (Nunez ve ark, 2014). Üstelik yapılan bir çalışmada probiyotik bir içecek olan kefir, HFD ile beslenen farelerde *Lactobacillus/Lactococcus*, toplam maya sayılarını artırarak ve *B. fragilis*'in düzeyini ve F/B oranlarını azaltarak bağırsak mikrobiyotasını modüle etmiştir. Kefir tüketiminin HFD ile beslenen farelerde kilo kaybına yol açan lipid oksidasyonunu teşvik ettiği bildirilmiştir. Bu durum, kefir tüketiminin obezite ile ilişkili sistemik düşük dereceli inflamasyonu kısmen hafiflettiğine işaret etmektedir (Kim ve ark, 2017).

## 5.2. D Vitamini

D vitamini; inflamasyonu engelleyen bağırsıklık düzenleyici özelliklere sahiptir (Luthold ve ark, 2017). D vitamini yolağının bağırsak homeostazında ve mikrobiyota ile konakçı arasındaki sinyallemede önemli olabileceğine dair kanıtlar artmaktadır. D vitamini reseptöründen (VDR) yoksun olan farelerin, gastrointestinal sistemde kronik, düşük dereceli inflamasyona sahip olduğu ve VDR yokluğunun T hücrelerinin bağırsağa geçişinin azalmasına yol açtığı belirlenmiştir (Ly ve ark, 2011; Luthold ve ark, 2017). Ek olarak, insanlarda D vitamini alımı, azalmış dolaşım LPS seviyeleri, azalmış *Coprococcus*, *Bifidobacterium* ve *Prevotella* düzeyi ile ilişkilendirilmiştir (Luthold ve ark, 2017; Zmora ve ark, 2019).

## 5.3. Lif / Posa

Diyet lifi, bağırsak mikrobiyotası için önemli bir fermentatif kaynaktır (Fan ve Pedersen, 2020; Thomaz ve ark, 2020). Lif, tokluk üzerinde etkiye sahip olmasının yanı sıra vücut ağırlığı, glikoz ve yağ metabolizmasında, bağırsak geçirgenliği ve inflamasyonun kontrol edilmesiyle bağlantılı birçok fizyolojik sürece aracılık eder (Moran ve Shanahan, 2014; Shen ve Maitin, 2015). Diyet lifinin SCFA'lara fermentasyonu, konağın *Clostridium difficile* ve *Salmonella enterica subsp.* gibi patojenlere karşı savunmasında yardımcıdır (Zmora ve ark, 2019). Lif, bağırsak mikrobiyotası ve obezite arasındaki ilişkide kritik bir rol oynamaktadır (Dong ve ark, 2016). Son yıllarda yapılan birçok çalışma, lifin bağırsak bariyeri işlevini geliştirmede önemli bir rol oynadığına işaret etmektedir (Zmora ve ark, 2019). Selüloz bazlı HFD diyetine lif ilavesinin yapıldığı bir çalışmada obez fareler kilo artışından korunmuştur (Rabot ve ark, 2016). Önemli bir lif kaynağı olan yulafın; kilo kaybı, glisemi ve LDL kolesterolde azalma gibi yararlarına ek olarak; obez farelerde bağırsak mikrobiyotasının B/F oranını normal farelerinkine benzer şekilde değiştirdiği ve obezite önleyici etkiler sağladığı belirlenmiştir (Dong ve ark, 2016; Nagano ve Yano, 2020). Yüksek yağlı diyet ile indüklenen obez farelere 8 hafta boyunca yulaf takviyesinin bağırsak mikrobiyota bileşimini değiştirdiği, obezite, dislipidemi ve ilgili metabolik bozuklukları hafiflettiği bildirilmiştir (Dong ve ark, 2016). Belirli bir lif türü olan prebiyotik, bağırsak mikrobiyotasındaki değişikliklere katkıda bulunur. Bunlardan en önemlisi, LPS düzeylerini düşürüp, mukozal bariyeri iyileştirilmesiyle

HFD'nin neden olduğu endotoksemi ve inflamatuvar tonun etkisini hafifleten *Bifidobacterium*'u desteklemesidir (Klancic ve Reimer, 2020; Moran ve Shanahan, 2014; Rodriguez ve ark, 2018). "İnsanlaştırılmış fareler" düşük lifli bir diyetle maruz bırakıldığında, azalmış mikrobiyal çeşitlilik/işlev sergiler. Üstelik bu etki gelecek nesillere aktarılır. Düşük lifli Batı diyetinin tüketimiyle görülen mikrobiyal takson ve işlev kaybını önlemek için yüksek lifli diyet önem taşımaktadır (Klancic ve Reimer, 2020).

#### 5.4. Prebiyotik

Prebiyotikler; kolondaki bakterilerin büyüme ve aktivitesini uyararak sağlığın iyileştirilmesini sağlayan, sindirilemeyen diyet maddeleridir (Klancic ve Reimer, 2020; Zmora ve ark, 2019). Vücut ağırlığını ve yağ kütlelerini düşürme, inflamasyonu azaltma, glikoz kontrolünü iyileştirme gibi etkileriyle metabolik sağlığı desteklerler (Klancic ve Reimer, 2020). Örneğin, DIO farelerine oligofruktoz uygulanması; bifidobakteri ve laktobasilde belirgin bir artış, yağ kütleleri ve kilo alımında azalma, bağırsak bariyer fonksiyonunu iyileştirme ve *Akkermansia muciniphila* düzeyinin restore edilmesi gibi yararlı etkiler sağlamıştır (Ballini ve ark, 2020; Ejtahed ve ark, 2019; Moran ve Shanahan, 2014). Sağlıklı yetişkinlerde yapılan bir çalışmada, yerel olarak yetiştirilmiş inülin bakımından zengin sebzelere dayalı beslenme müdahalesinin, yararlı bağırsak mikrobiyotası değişiklikleri ve iyi tolere edilen diyet liflerinin alımında artışı sağlamıştır (Hiel ve ark, 2020; Rodriguez ve ark, 2018). Bir inülin/oligofruktoz karışımı ise; LPS, yağ kütleleri ve LDL kolesterol ile negatif ilişkili olan *Bifidobacterium spp.* ve *F. Prausnitzii*'yi arttırmıştır (Nicolucci ve ark 2017). Bir insan çalışması, fruktooligosakkaritlerin (FOS), kilolu bireylerde ghrelini düşürmesi ve PYY'yi artırmasıyla kalori alımının azaltıldığını ve kilo kaybını desteklediğini ortaya koymuştur (Shen ve Maitin, 2015). Aşırı kilolu ve obez deneklerde galaktooligosakkarit ve inülin tedavisi ile "bifidojenik" etki gözlenmiş, toplam dışkı SCFA'ları ve inflamatuvar etki azalmış, lipid seviyelerinde faydalı değişiklikler görülmüştür. Bu etkiler, obezitede prebiyotikler için arzu edilen role işaret eder (Hiel ve ark, 2020). Üstelik obezlerde artan sitokinlerden IL-6, prebiyotik ile önemli ölçüde azaltılan tek sitokindir (Nicolucci ve ark, 2017). İnülinle zenginleştirilmiş bir diyet, obez hastalarda kilo kaybını teşvik etmiştir ancak tedavi etkinliği bağırsak mikrobiyotası özellikleriyle ilişkilendirilmiştir (Hiel ve ark, 2020; Rodriguez ve ark, 2018). Örneğin, bu tedavi, müdahaleden önce antidiyabetik ilaç olarak metformin almayan hastalarda daha etkili olup kişiselleştirilmiş beslenme müdahalelerinde hem ilaç tedavisinin hem de mikrobiyotanın dikkate alınabileceğini desteklemektedir (Hiel ve ark, 2020; Neyrinck ve ark, 2020). Bununla birlikte, prebiyotikler; kilo alımını normalleştirilmesi, vücut yağını azaltması, birincil safra asitlerini ve bağırsak mikrobiyotasını seçici olarak değiştirmesi nedenleriyle aşırı kilolu/obez çocuklarda potansiyel bir diyet müdahalesidir (Nicolucci ve ark, 2017). Prebiyotiklerle yapılan çalışmalar, probiyotiklere göre vücut ağırlığı, yağ kütlelerinde azalma ve obezite üzerindeki etkilerle ilgili daha umut verici sonuçlar vermiştir (Neyrinck ve ark, 2020; Mishra ve ark, 2016).

#### 5.5. A Vitamini

Obezitede, beyin esnekliği ve hafıza süreçleri için gerekli bir vitamin olan A vitamini eksikliği ve biyoyararlılığının azalması söz konusudur (Biyong ve ark, 2020; Blaner, 2019). A vitamini, bağırsak mukozal bağışıklığını düzenleyebilir ve sıkı bağlantılarda yer alan proteinlerin ekspresyonunu düzenleyerek

bağırsak bariyer işlevinin sürdürülmesine katılabilir (Biyong ve ark, 2020; Zmora ve ark, 2019). Akut A vitamini eksikliğinin, *Bacteroides vulgatus*'un çoğalmasına neden olduğu bildirilmiştir (Blaner, 2019; Zmora ve ark, 2019). Diyetle indüklenen obezite, hipokampal fonksiyonun düzenlenmesinde rol alan vagus siniri yoluyla bağırsak-beyin nöral iletişimini değiştirir. Bununla birlikte A vitamini takviyesi, erken obeziteye diyet tüketiminin neden olduğu hipokampal fonksiyondaki zararlı etkilerine karşı, bağırsak-beyin ekseninin modülasyonu yoluyla koruyucudur. A vitamini takviyesinin HFSD'nin neden olduğu nörobilişsel değişikliklere karşı koruyucu etkisi, mikrobiyota çeşitliliğinin korunmasıyla ortaya çıkan kombine etkilerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Biyongve ark, 2020; Bruce ve ark, 2015).

#### 5.6. Çoklu Doymamış Yağ Asitleri

Gastrointestinal sistemde detoksifiye edici bir mekanizma olarak diyet yağından elde edilen çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA), bağırsak mikrobiyota doygunluğuna aracılık eder (Miyamoto ve ark, 2019). Bağırsak mikrobiyotasının PUFA metabolitlerinin üretimi yoluyla HFD'nin neden olduğu obeziteye karşı konakçıya direnç kazandırdığı bildirilmiştir. Çoklu doymuş yağ asitleri kaynaklı bakteriyel ara metabolitlerin *in vitro* veya *in vivo* olarak uygulanması, anti-obezite ve anti-inflamatuvar etkilerle sonuçlanmaktadır (Bellenger ve ark, 2021; Coelho ve ark 2019; Miyamoto ve ark, 2019). Yüksek yağlı diyet ile beslenme *Firmicutes* filumuna ait *Lactobacillaceae* familyasının büyük ölçüde azalmasıyla ilişkili olmasına rağmen linoleik asit (LA) takviyesi, *Lactobacillaceae* düzeyinde artışa katkıda bulunmuştur (Coelho ve ark, 2019). Bununla birlikte, LA ile ilişkili bağırsak mikrobiyal metaboliti olan 10-hidroksi-*cis*-12-oktadekenik asit (HYA) takviyesi farelerde araşidonik asit aracılı adipoz iltihaplanmasına neden olmadan, serbest yağ asidi reseptörleri yoluyla metabolik durumu iyileştirdiği, iştahı bastırdığı ve HFD'nin neden olduğu obeziteyi hafiflettiği bildirilmiştir (Coelho ve ark, 2019; Miyamoto ve ark, 2019). Omega-3 veya omega-6 çoklu doymamış yağ asitleri açısından zengin bir HFD alan fareler, tek başına HFD alan farelere kıyasla farklı fenotip göstermiştir (Araujo ve ark, 2017). Özellikle, bağırsak mikrobiyotasının omega-3 tarafından modülasyonu farelerde metabolik sendromun önlenmesine katkıda bulunmuştur (Bellenger ve ark, 2021). Doymamış yağ ile beslenen farelerin doymuş yağ oranı yüksek bir diyetle beslenenlere kıyasla daha az kilo alması ve daha çeşitli mikrobiyota barındırması, vücut kütleleri ve bağırsak mikrobiyotası üzerinde derin etkiye işaret eder (Coelho ve ark, 2019; Rabot ve ark, 2016). Mikrobiyota ve doymuş diyet lipidleri arasındaki etkileşimler, mikrobiyotayı değiştirir ve plazmada bağırsak mikrobiyotasından türetilmiş proinflamatuvar moleküllerin seviyesini artırır (Schroeder ve Backhed, 2016; Zmora ve ark, 2019).

#### 5.7. Egzersiz

Son araştırmalar, egzersizin bağırsak mikrobiyal popülasyonların çeşitliliğini, bileşimini ve işlevselliğini değiştirme kapasitesini vurgulamaktadır (Allen ve ark, 2018; Petriz ve ark, 2014; Quiroga ve ark, 2020). Egzersiz, enerji homeostazında ve düzenlenmesinde olumlu bir rol oynayarak, bağırsak mikrobiyal bileşiminde olumlu yönde değişikliklere neden olmaktadır. Düşük yoğunluklu egzersiz, geçici dışkı süresini ve bununla birlikte patojenler ve gastrointestinal mukus tabakası arasındaki temas süresini azaltarak gastrointestinal sistemi etkileyebilmektedir. Bu sayede kolon kanseri,



divertikülozis ve inflamatuvar bağırsak hastalığı riskinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca yüksek yağlı diyet durumlarında bile egzersiz, inflamatuvar infiltratı azaltabilmekte, bağırsağın morfolojisini ve bütünlüğünü koruyabilmektedir. Sedarer davranışla birlikte yüksek yağlı diyet, plazmasitoid ve lenfositik infiltrat nedeniyle villus genişliğinin artmasına neden olur. Fakat egzersiz, hem proksimal hem de distal bağırsakta siklooksijenaz 2 (Cox-2) ekspresyonunu azaltarak, bu morfolojik değişiklikleri önlemektedir (Monda ve ark., 2017). Clarke ve ark. (2014), daha hareketsiz kontrol deneklerine kıyasla profesyonel sporcuların daha fazla bağırsak mikroorganizması çeşitliliğine sahip olduğunu gösterdiklerinde, bu özellik genellikle sağlıklı bağırsak mikrobiyotasıyla ilişkilendirilmiş ve bu sonuç egzersizin bağırsak mikrobiyotası kompozisyonunu etkileyebileceğinin ilk göstergelerinden biri olmuştur. Mikrobiyota çeşitliliğine ek olarak, sporcuların daha yüksek SCFA seviyelerine sahip olması; bağırsak bariyer bütünlüğü, beyin işlevi ve bağırsıklık gibi önemli eylemleri etkileyebilir (Allen ve ark 2018; Klancic ve Reimer, 2020). Obez pediatrik hastalarda, 12 haftalık güç ve dayanıklılık kombine eğitim programının bağırsak mikrobiyotası ve inflamasyon üzerindeki etkisini belirlemeyi amaçlayan çalışmalarda; egzersizin bağırsak mikrobiyota profilini modüle ettiği ve obez çocuklarda inflamatuvar sinyal yollarını bozduğunu; obezite ile ilişkili NLRP3 sinyal yolunun aktivasyonunu önemli ölçüde inhibe ettiği belirlenmiştir (Allen ve ark, 2018; Quiroga ve ark, 2020). Ek olarak, fiziksel aktivite, obez çocuklarda *Blautia*, *Dialister*, *Lachnospira*, *Velionella* ve *Roseburia* gibi bazı cinsleri artırma eğilimi göstermiş ve sağlıklı çocuklarına benzer bir mikrobiyota profiline yol açmış, *Alkaliphilus* ve *Clostridium* gibi bazı cinsleri ise azaltmıştır (Petriz ve ark, 2014; Quiroga ve ark, 2020). Bağırsak mikrobiyotasının fiziksel egzersizle modülasyonu, disbiyoz ile ilişkili hastalıkların ilerlemesini engeller, bağırsak bariyer bütünlüğünü korur ve erken obezitenin *in vivo* modelinde bile inflamatuvar yanıtı önler (Allen ve ark, 2018; Palmas ve ark, 2021; Quiroga ve ark, 2020). Sonuç olarak, bulgular, obezitede egzersiz müdahalesi ile olumlu şekilde modifiye edilen zararlı bir mikrobiyota profilinin varlığını ileri sürmekte ve erken obezitede egzersiz performansının etkili bir farmakolojik olmayan tedavi olarak değerini vurgular (Klancic ve Reimer, 2020; Quiroga ve ark, 2020). Bununla birlikte, egzersizin sağladığı mikrobiyotanın işlevselliğindeki değişiklikleri ve ilgili etkilerini anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır (Petriz ve ark, 2014).

## 5.8. Lipokalin 2

Lipokalin 2 (LCN-2); doğuştan gelen bağırsıklıkta rol oynayan ve bağırsakta bulunan antimikrobiyal bir peptittir. Lipokalin 2'nin bağırsakta yukarı regülasyonu, iltihaplı bağırsak hastalığıyla ilişkilendirilir. Lipokalin 2 eksikliği, SCFA'lar ve SCFA üreten mikropların üretimini azaltması dahil olmak üzere mikrobiyal yapıyı değiştirir ve mikrobiyal metabolizmayı yeniden programlar (Moschen ve ark, 2017; Qiu ve ark, 2020). Üstelik eksikliği, *Dubosiella* ve *Angelakisella*'yı geliştirerek, SCFA üreten bakterilerin üremesini bastırarak HFD'nin neden olduğu mikrobiyal disbiyoz gelişimini şiddetlendirir (Gumpper ve ark, 2020; Qiu ve ark, 2020). Uzun vadeli HFD tüketiminin, bağırsak lümenindeki LCN-2 seviyelerini azalttığı, LCN2'nin savunma mekanizmasını bozduğu bildirilmiştir. Lipokalin 2 savunma sisteminin kaybedilmesi nedeniyle mikrobiyota disbiyozu gelişir. Böylece obezite ve metabolik düzensizliğin gelişimini hızlandırır (Gumpper ve ark, 2020; Qiu ve ark, 2020). Tüm bunlar, LCN-2'nin DIO'nun erken döneminde bağırsak

mikrobiyal disbiyoz gelişimine karşı koruyucu bir role sahip olduğunu gösterir (Moschen ve ark, 2017; Qiu ve ark, 2020).

## 5.9. Metformin

Metformin, diyabet tedavisinde kullanılan oral antidiyabetik bir ilaçtır (Luck ve ark, 2019). Metforminin glikoz metabolizmasına etki ettiği mekanizmalardan biri de bağırsak mikrobiyotası üzerindeki olumlu etkilerinden kaynaklanır (Pascale ve ark, 2019). Metformin, *Firmicutes* ve *Proteobacteria* filumlarında SCFA üreten bakterileri organize ederek bağırsak mikrobiyotasını yeniden şekillendirir (Hiel ve ark, 2020; Pascale ve ark, 2019). Metformin, *Akkermansia muciniphila*'nın sayısını arttırmaktadır; buna göre bakteri miktarının azalması obezite, insülin direnci ve diyabet gelişimi ile ilişkilendirilmektedir (Pascale ve ark, 2019; Zmora ve ark, 2019). Metforminle tedavi edilmiş donörlerden HFD ile beslenen GF farelerine dışkı transferi, *B. fragilis*'in üremesini engelleyerek glukoz toleransını arttırdığı ve metforminle değiştirilmiş mikrobiyotanın glikoz düşürücü etkiler üretebileceği kanıtlanmıştır (Cao ve ark, 2019; Pascale ve ark, 2019). Bununla birlikte, 24 saat metformine maruz kalmanın bağırsak L hücrelerinden GLP-1 salgılanmasını doğrudan uyardığı gösterilmiştir (Pascale ve ark, 2019). Ayrıca, obez farelerde metformin ile tedavi, IgA üreten bağırsıklık hücrelerini arttırdığı ve bağırsak geçirgenliğini iyileştirdiği belirlenmiştir (Luck ve ark, 2019).

## 5.10. Antibiyotik

Antibiyotiklerin bağırsak mikrobiyotasını ve BA metabolizmasını değiştirerek insan fizyolojisini önemli ölçüde etkilediği gösterilmiştir (Moran ve Shanahan, 2014; Nakamura ve ark, 2020). Antibiyotik tedavisine bağlı olarak LPS konsantrasyonu düşmüştür; inflamasyon, glukoz intoleransı ve obezitenin gerilemesi sağlanmıştır (Araujo ve ark, 2017; Nakamura ve ark, 2020; Zhao, 2013). Antibiyotiklerin adipozite ve diyabet üzerindeki etkisini araştıran çalışmalarda, antibiyotik tedavisinin HFD kaynaklı obez farelerin vücut ağırlığı ve vücut yağında azalmayı sağladığı gösterilmiştir (Faintuch J. Ve Faintuch S., 2019; Schroeder ve Backhed, 2016). Obez gönüllüler üzerinde yapılan bir başka çalışmada, 1 haftalık oral vankomisin kürü ile tedavi edilen obez gönüllülerin, bağırsak mikrobiyotasında belirgin değişikliklerle birlikte periferik insülin duyarlılığı ve BA dehidoksilasyonu azalmıştır. Vankomisin tedavisi, *Clostridium* IV ve XIV kümesine ait spesifik grupların, *L. plantarum* ve *F. prausnitzii* dahil olmak üzere çeşitli bütirat üreten türlerin ve gram pozitif bakterilerin sayısında azalma ile sonuçlanmıştır (Moran ve Shanahan, 2014; Reijnders ve ark, 2016). Pek çok çalışmada, sözde mikroorganizma içermeyen hayvanlar, sefadroksil, oksitetrasiklin ve eritromisin içeren kombinasyonlar gibi geniş spektrumlu antibiyotik kokteylleri ile bağırsak mikrobiyotasının çoğunun çıkarılmasıyla oluşturulur (Reijnders ve ark, 2016; Zhao, 2013). Ampisilin-neomisin kokteyllinin, HFD ile beslenen farelerde obezite gelişimini engellemesi, bağırsak mikrobiyotasının bu süreç için gerekli olduğunu göstermiştir (Reijnders ve ark, 2016; Zhao, 2013). Bu çalışma, mikrobiyotadan yoksun farelerin yüksek kalorili bir diyetin neden olduğu obeziteye dirençli olduğuna dair önceki bulguları desteklemektedir (Zhao, 2013; Wilkins ve Reimer, 2021). Başka bir çalışma erken yaşamda antibiyotik kullanımının bağırsak mikrobiyotasında değişikliklere ve nihayetinde bağırsıklık sisteminin anormal gelişimine neden olabileceğini ve farelerde yağlanmaya yatkınlığı arttırdığını göstermiştir (Faintuch J. ve Faintuch S., 2019; Ly ve ark, 2011; Moran ve Shanahan, 2014). Örneğin, erken yaşamda amoksisilin



bazlı antibiyotiğe maruziyetin, genlerin %10-30'unda bağırsağın olgunlaşma sürecini geciktirdiği, bağışıklık sistemine dahil olan genleri azalttığı ve sonuç olarak bağırsak bariyer işlevine müdahale ettiği bildirilmiştir (Klancic ve Reimer, 2020; Reijnders ve ark, 2016). Özellikle yaşamın ilk bir yılında antibiyotiklere maruz kalan çocukların, aşırı kilolu olma riski artmaktadır. Düşük doz penisilin ile tedavinin, bağırsak mikrobiyotasını değiştirdiği, SCFA seviyelerini arttırdığı ve lipit-kolesterolün hepatik metabolizmasını değiştirerek yağ oranını arttırdığı bildirilmiştir (Klancic ve Reimer, 2020; Wilkins ve Reimer, 2021). Benzer şekilde bir başka çalışmada, antibiyotiklerin sıklıkla kullanıldığı yenidoğan yoğun bakım ünitelerindeki bebeklerde az sayıda anaerob ve daha yüksek sayıda enterokok, *Enterobacteriaceae* ve koagülaz negatif stafilokok bulunduğu belirtilmiştir (Ly ve ark, 2011). Ayrıca antibiyotikler, bağırsak mikrobiyota bileşiminin kararlı alternatif bir duruma geçmesine neden olabilir. Bu durum orjinal yapıya geri dönmeyi imkânsız hale getirir çünkü bazı üyeler geri döndürülemez bir şekilde ekosistemden çıkarılır (Reijnders ve ark, 2016; Zhang ve ark, 2012). Oysa diyet, yalnızca belirli bireylere büyüme avantajları ve diğerlerine dezavantajlar sağlar. Rahatsızlık giderildikten sonra normal duruma dönmeye izin verir (Reijnders ve ark, 2016; Zhang ve ark, 2012). Mikrobiyota-bağırsak-beyin ekseninin antibiyotiklerle modülasyonu, obezitenin önlenmesi ve tedavisinde önemli olabilir (Moran ve Shanahan, 2014; Reijnders ve ark, 2016).

### 5.11. Bariatrik Cerrahi

Obezite cerrahisi sonucunda hormon seviyelerinde ve mikrobiyota profilinde değişiklik meydana gelir (Moran ve Shanahan, 2014; Muscogiuri ve ark, 2019). Örneğin, mide bayпасı olan deneklerde, hem *Gammaproteobacteria* (*Enterobacteriaceae* dahil) hem de *Fusobacteriaceae* içeriğinin artması ve *Clostridia* içeriğinde orantılı azalmayla zayıf veya obez deneklerinkinden farklı bir mikrobiyota kompozisyonu sergilemiştir (Muscogiuri ve ark, 2019; Sanchez ve ark, 2021). Roux-en-Y gastrik bayпас (RYGB) sonrası *Gammaproteobacteria* ve *Proteobacteria*'da büyük bir artış, *Firmicutes*'te orantılı bir düşüş ve metanojen kaybı gözlenmiştir (Moran ve Shanahan, 2014; Muscogiuri ve ark, 2019). Mikrobiyotanın RYGB ile indüklenen kilo kaybındaki rolü, sahte operasyon geçiren farelerden mikrobiyota alan GF farelerine kıyasla, RGYB ile tedavi edilen farelerden mikrobiyota transferi alan GF farelerinin önemli kilo kaybına ve azalmış yağ kütlelerine sahip olduğu gösterilmiştir (Moran ve Shanahan, 2014; Muscogiuri ve ark, 2019). İnsanlarda vücut ağırlığını azaltan ve glikoz regülasyonunu iyileştiren bir bariatrik cerrahi prosedürü olan dikey kollu gastrektomi (VSG), farelerde dolaşımdaki daha yüksek BA ve değiştirilmiş bağırsak mikrobiyota kompozisyonu ile ilişkilidir (Sanchez ve ark, 2021; Schroeder ve Backhed, 2016). Kalorisi azaltılmış diyetler veya bariatrik cerrahi gibi obezite tedavileri, bağırsak mikrobiyotasını değiştirerek, bağırsak mikrobiyotal bileşimini değiştirmenin, stabil kilo kaybına ulaşmak için ek bir mekanizma sağlama potansiyeline sahip olduğu hipotezini destekler (Mabey ve ark, 2020; Muscogiuri ve ark, 2019; Sanchez ve ark, 2021).

### 5.12. Fekal Mikrobiyal Transplantasyon

Dışkı, kolon ve rektumdaki doğrudan teması ve geçici varlığı nedeniyle, alt gastrointestinal sistemin sağlık durumunu yansıtan değerli bir biyolojik matrisi temsil eder ve konak ile simbiyotik mikroorganizmalar arasındaki benzersiz bir metabolik etkileşimi yansıtır (Mojsak ve ark, 2020). Mikrobiyal

modülasyonun oldukça sert bir adaptasyonu olan dışkı mikrobiyota nakli (FMT), tüm mikrobiyal topluluğu değiştirir (Fischer ve ark, 2017; Schroeder ve Backhed, 2016; Rodriguez ve ark, 2018). Obez bir vericiden mikrobiyota alan obez olmayan alıcı, vericinin bazı metabolik özelliklerini alır. Eğer GF fareleri gibi mikrobiyotadan yoksunsa DIO'ya direnç kazanır (Fischer ve ark, 2017; Moran ve Shanahan, 2014). Dışkı mikrobiyota nakli, bağırsak mikrobiyotası ve obezite gelişimi arasında nedensel bir ilişki olduğunu gösterir. Obez bireylere faydalı bakteriler verilmesi modülasyon sağlayabilir (Bakker ve Nieuwdorp, 2017; Rodriguez ve ark, 2018). Bununla birlikte, yapılan bir insan çalışmasında obez bireylere FMT uygulanmış ancak metabolizma ve vücut ağırlığı açısından anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir. Gelecekteki çalışmaların, donörlerin ve alıcıların mikrobiyota ve yaşam tarzı değişikliklerini dikkate alması gerektiği düşünülmektedir (Yu ve ark, 2020).

### 5.13. *Akkermansia muciniphila*

İnsan bağırsak mikrobiyotasında bol miktarda bulunan musin parçalayıcı bir bakteri türü olan *Akkermansia muciniphila*'nın azalması; obezite, insülin direnci, diyabet ve diğer kardiyometabolik bozukluklarla ilişkilendirilmiştir (Klancic ve Reimer, 2020; Liu ve ark, 2017; Pascale ve ark, 2019). *Akkermansia muciniphila*'nın HFD ile beslenen farelere oral yoldan verilmesi, glikoz homeostazını önemli ölçüde iyileştirerek Tip 1 diyabet başlangıcını geciktirmektedir (Ballini ve ark, 2020; Nakamura ve ark, 2020; Pascale ve ark, 2019). Bu etkinin *A. muciniphila*'nın bağışıklık sistemi üzerindeki düzenleyici etkisinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Ancak oksijen duyarlılığı uygun olmadığı için bu etki insanlarda açıkça gösterilmemiştir (Everard ve Cani, 2013; Pascale ve ark, 2019). *Akkermansia muciniphila*'nın farelerde yağ kütle gelişimini, insülin direncini ve dislipidemi azaltma kapasitesinin tespit edilmesi metabolik hastalıkların yönetiminde tedavi edici bir yaklaşım olarak gelecekteki insan araştırmalarının yolunu açar (Pascale ve ark, 2019; Rabot ve ark, 2016; Zhao, 2013). Epitelyal bariyerin korunmasında önemli olarak belirlenen *A. muciniphila* ve *B. thetaiotaomicron* türlerinin tükenmesi, LPS'nin dolaşıma taşınmasını artırabilir ve TNF $\alpha$  ve IL6 gibi pro-enflamatuar faktörlerin indüksiyonunu tetikleyebilir (Nakamura ve ark, 2020; Liu ve ark, 2017). Yüksek yağlı diyet ile beslenen farelere üzüm veya kızılıçıklardan türetilen polifenollerin takviyesi, HFD'nin *A. muciniphila*'da azalma ile ilişkili olan enflamatuar ve obezogenik etkilerini azaltmıştır (Ejtahed ve ark, 2019; Zmora ve ark, 2019).

### 5.14. Diğer

Son zamanlarda, bir dizi deneysel ve epidemiyolojik çalışma, meyveler (üzüm, elma ve çilek), sebzeler (yeşil yapraklı sebzeler ve acı kavun), baharatlar (zerdeçal, kırmızı biber, biberiye ve tarçın) gibi çeşitli diyet bitkilerinin, baklagiller (bezelye, soya ve maş fasulyesi), tahıllar (karabuğday, sorgum, arpa, mısır ve buğday) ve çayın (yeşil, oolong ve siyah çaylar), bağırsak mikrobiyotasının bileşimini ve bolluğunu değiştirerek anti-obezite etkinlik gösterebileceğini bildirmiştir. Bu inceleme, bağırsak mikrobiyotasını modüle edecek fonksiyonel besinlerin geliştirilmesini teşvik edebilir (Cao ve ark, 2019; Muscogiuri ve ark, 2019). Bağırsak bakterileri kahverengi ve bej yağ dokularının düzenlenmesinde önemli bir role sahiptir. Aralıklı oruç, bağırsak mikrobiyotasını şekillendirerek beyaz yağ esmerleşmesini teşvik eder ve obeziteyi azaltır. Oruç tutmanın bej yağ gelişimini seçici olarak uyardığı ve böylelikle obezite, hepatik steatoz ve insülin direncini iyileştirdiği bildirilmiştir (Li

ve ark, 2017). Yüksek yağlı diyet ile beslenen farelerde yapılan bir araştırmada, *Portunus trituberculatus*'tan elde edilen yumurta yağının (Pt-yumurta yağı), LPS seviyelerini ve aşağı regüle Toll benzeri reseptör 4 yolunu düşürmesi, SCFA'ları arttırması kan şekeri ve serum insülin seviyelerini düşürmesi gibi anti-obezite üzerindeki profilaktik etkilerinin insan bağırsak sağlığında iyileşme için alternatif besin takviyesi olabileceğini bildirmiştir (Hu ve ark, 2020). Geleneksel Çin tıbbından izole edilen aktif maddeler, bağırsak mikrobiyotasını modüle ederek HFD ile ilişkili konak obeziteyi iyileştirebilir. Örneğin, *Coptis chinensis*'in önemli bir farmakolojik bileşeni olan berberin, bağırsak mikrobiyotasının yapısal modülasyonu yoluyla HFD ile beslenen sıçanlarda obezite ve insülin direncinin gelişmesini engeller. Nuciferine (NUC) ise, HFD ile beslenen farelerde SCFA üretimini ve bağırsak sıkı bağlantı ekspresyonunu arttırır, serum LPS seviyelerini ve proinflatuar sitokin üretimini azaltır. Obeziteyi önlemek için potansiyel bir ilaç olarak NUC geliştirilebilir ve bağırsak mikrobiyotası, NUC'nin potansiyel anti-obezite stratejisinin hedefini temsil edebilir (Wang ve ark, 2020).

Obez farelerin diyetine wasabi eklenmesinin, *Allobaculum* ve *Bifidobacterium* sayısını arttırdığı, *Desulfovibrionaceae* sayısını azalttığı bildirilmiştir. Wasabi kaynaklı bağırsak mikrobiyota değişiklikleri, gelişmiş konakçı lipid belirteçleri ile ilişkilendirilmiştir (Thomaz ve ark, 2020). Yaygın bir gıda katkı maddesi olarak kullanılan glutamat, kemirgenlere uygulandığında obeziteye neden olabileceği belgelenmiş olup *B. thetaiotaomicron* ile beslenen farelerde gözlenen daha yüksek lipoliz ile tutarlı olarak, düşük lipoliz ve genişlemiş adipositler, monosodyum-glutamat kaynaklı obeziteyle ilişkilendirilmiştir. Gıda katkı maddelerinin mikrobiyotaya etkilerinin araştırılması ve böylelikle potansiyel zararlı olanlarının sınırlandırılması mikrobiyotayı modüle etmede faydalı olabilir (Liu ve ark, 2017). Amino asit L-glutaminin (GLN) bağırsakta fizyolojik bir rol oynadığı ve bağırsak enerji üretiminin beslenme açısından önemli bir kısmına katkıda bulunduğu bilinir. Aşırı kilolu ve obez yetişkinlerde GLN ile oral takviye, obez ve aşırı kilolu yetişkinlerin bağırsak mikrobiyotasını kilo kaybında görülen etkilere benzer şekilde değiştirmiş olup *Firmicutes*'in *Bacteroidetes*'e oranını azaltmıştır. L-glutaminin bağırsak mikrobiyota bileşimindeki değişiklikleri teşvik ettiği bulgusu, bağırsak bakteri profilini modüle etmede bazı besin maddelerinin önemi için destek sağlamaktadır (de Souza ve ark, 2015).

## 6. Tartışma

Gnotobiyotik hayvanlar haricinde, doğada organize bir bağırsağa sahip her hayvan, fermentasyon yoluyla kompleks polisakkaritleri parçalamak için mikroorganizmaları kullanır (Shen ve Maitin, 2015). Fare çalışmalarının çoğunda GF/gnotobiyotik fareler kullanılır. Ancak GF hayvanlarında sindirim süreçlerinin geleneksel farelerden farklı olduğu dikkate alınmalıdır (Araujo ve ark, 2017; Fan ve Pedersen, 2020). Mikroorganizma içermeyen hayvanları bir veya birkaç mikroorganizma türü ile ilişkilendiren çalışmalar, bağırsaktaki mikroorganizma etkileşimlerini aydınlatmada yararlı olsa da memeli-mikrobiyota etkileşimlerini modellemede daha az yararlıdır, çünkü mikroorganizmasız durum, her iki açıdan da anormal bir bağırsak ortamı yaratır (Rosenbaum ve ark, 2015). Üstelik filum düzeyinde hem insan hem de kemirgen bağırsak mikrobiyotası arasında önemli benzerlik olmasına rağmen, daha düşük taksonomik sıralarda önemli farklılıklar vardır. Örneğin

farelerde bulunan birçok bakteri cinsi ve türü insanlarda görülmez (Araujo ve ark, 2017).

Bu derlemede, beyin-bağırsak eksenine bağlı olarak mikrobiyota ile obezite ilişkisi açıklanmıştır. Literatürde, obezitenin metabolik bir hastalık olmasının ötesinde nörobiyolojik temelini olduğu da bildirilmektedir (Avşar ve ark., 2017). Çoğu çalışma, vücut ağırlığı ve bağırsak mikrobiyotası arasında bir ilişki olduğunu doğrulasa da obez veya zayıf mikrobiyotayı oluşturan gruplar üzerinde çok az fikir birliği bulunur (Bakker ve Nieuwdorp, 2017; Rosenbaum ve ark, 2015). Fikir birliğinin olmaması, obezitede nedensel veya koruyucu bir rolün henüz belirli mikroorganizmalara güvenle atanamayacağı anlamına gelir (Shen ve Maitin, 2015). Bununla birlikte, bazı çalışmaların sınırlamalarından biri, mikrobiyota transplantasyonunun, donmuş dışkı ile gerçekleştirilmesidir (Rabot ve ark, 2016). Üstelik çalışma, mikrobiyota manzaralarının anlık görüntüleridir ve bağırsak mikrobiyomunun kısa vadeli ve uzun vadeli dinamikleri hakkında daha fazla bilgiye ihtiyaç vardır (Fan ve Pedersen, 2020). Örneğin, C57BL/6J farelerinin HFD diyetinde obezite geliştirdiği bilinir ve yüksek doymuş yağ kronik maruziyet, obezitenin gelişiminde bağırsak mikrobiyotasının rolünü sınırlarken diyet-konakçı etkileşimlerini güçlendiren deneysel bir duruma yol açabilir. Bağırsak mikrobiyotasının C57BL/6J farelerde obeziteye katkısının sınırlı olduğunu gösteren çalışmalar da vardır (Cao ve ark, 2019; Rabot ve ark, 2016). Tutarsız sonuçlar, her çalışmada benzersiz deneysel tasarım, mikrobiyota, beslenme ve diyetle ilgili olabilir (Rabot ve ark, 2016). Bağırsak mikrobiyotasındaki büyük ve karmaşık bireyler arası varyasyon nedeniyle, ideal insan deneme tasarımı, aynı kişilerde yıllarca çeşitli kontrollü çapraz geçiş müdahaleleri gerçekleştirmeyi gerektirir (Fan ve Pedersen, 2020). Bu nedenle, bağırsak mikrobiyotasının insan ortamında diyet, egzersiz, ilaç ve benzeri etkilere nasıl aracılık ettiği veya bunları nasıl değiştirdiğine dair popülasyonla ilgili mekanik içgörüler elde etmenin tek gerçekçi yolu, dikkatlice hazırlanmış, uzun süreli, randomize kontrollü denemelerden geçer (Cao ve ark, 2019; Fan ve Pedersen, 2020). Bağırsak mikrobiyotasının karmaşıklığı göz önüne alındığında, erken yaşamdaki manipülasyonunun obeziteyi önleyip tedavi edemeyeceğini güvenle belirleyebilmek için ek araştırmalara ihtiyaç vardır (Ly ve ark, 2011).

## 7. Sonuç

Bağırsak mikrobiyotasının insan sağlığında vazgeçilmez bir rol oynadığı bulgusu, klinik tıpta yeni çalışma alanları açmıştır. Birçok çalışma, GF farelerinin zayıf mikrobiyota ile aşılınca zayıf kaldığını, obez mikrobiyota ile aşılırsa obezite geliştirdiğini göstererek bağırsak mikrobiyotasının obezitedeki nedensel rolüne işaret eder. Çeşitli hayvan çalışmalarında bağırsak mikrobiyotasının obezitenin başlangıcında rol oynadığı, obezite ve obeziteye neden olan diyetlerle değiştirildiği ve diyetle ilişkili obezite ve ilişkili durumların bazı mekanizmalarına aracılık ettiği düşünüldüğünde, metabolik sağlıkta önemini gösteren kanıtlar bulunmaktadır. Üstelik, bağırsak mikroorganizmaları iştah, besin alımı ve tokluğu düzenleme yetenekleriyle de obeziteyi etkiler. Diyetle olumsuz fizyolojik tepkiler veren mikroorganizmaların tanımlanması, modern diyetler/yaşam tarzları bağlamında fizyolojik işlevi optimize eden kişiselleştirilmiş mikrobiyotaların gelecekteki tasarımını kolaylaştırabilir. Mekanizmalar hala tam olarak anlaşılmamış olsa da prebiyotikler, probiyotikler, polifenoller ve egzersizin HFD kaynaklı bağırsak fenotipini tersine çevirdiği ve

obezite ve bununla ilişkili metabolik komplikasyonların şiddetini hafiflettiği gösterilmiştir. Obez bağırsak mikrobiyotasında fonksiyonel değişikliklere neden olan potansiyel faktörleri tanımlamak önemlidir. Makro besinler, mikro besinler ve gıda katkı maddeleri, belirli cinslerin bolluğunu veya mikrobiyal metabolit manzarasını değiştirmek için mikrobiyota ile etkileşime girer ve bu karmaşık ağ içinde, konakçı üzerinde hem yararlı hem de zararlı etkiler gösterir. Obezite karşıtı fonksiyonel besinler iştahı engellemek, yağ ve karbonhidratların emilimini azaltmak, enerji tüketimini hızlandırmak ve bağırsak mikrobiyotasını modüle etmek gibi etkileriyle kilo vermede faydalı roller oynayabilir. Bununla birlikte, metabolik olarak sağlıklı bir mikrobiyota esas olarak yüksek lifli, düşük hayvansal yağlı ve düşük hayvansal proteinli diyetle elde edilebilir. Yüksek hayvansal yağ ve protein diyeti, hareketsiz yaşam, sigara, alkol alımı ve nispeten seyrek dışkılama ile uyarılan mikrobiyal disbiyoz, sızdıran bir mukoza, bağırsak ve sistemik inflamasyonla sonuçlanabilir ve obeziteye yol açabilir. Konakçı metabolik sağlığını geliştirme kapasitesine sahip bir insan bağırsak mikrobiyotasının altın standart bir referansı yoktur. Bunun nedeni, özellikle taksonomi düzeylerinde, farklı demografi, etnik köken, cinsiyet, yaş ve sağlık durumundaki bireyler arasında çok büyük farklılıklar olmasıdır. Bağırsak mikrobiyotasını hedef alan beslenme müdahalesinin obezitenin tıbbi takibinde dikkate alınması gerekir. Bağırsak mikrobiyotası, obezite ve obezite ile ilgili bozuklukların yönetiminde potansiyel bir beslenme ve farmakolojik hedefdir. Bu nedenle, bağırsak mikrobiyotasını modüle etme kabiliyetine sahip diyet veya terapötik bileşenler, obezite yönetimi için umut verici bir aday olabilir.

## Kaynakça

D., White, B. A., et al. (2018). Exercise alters gut microbiota composition and function in lean and obese humans. *Med Sci Sports Exerc*, 50(4), 747-57.

Araújo, J. R., Tomas, J., Brenner, C., & Sansonetti, P. J. (2017). Impact of high-fat diet on the intestinal microbiota and small intestinal physiology before and after the onset of obesity. *Biochimie*, 141, 97-106.

Avsar, O., Kuskucu, A., Sancak, S., Genc, E. (2017). Are dopaminergic genotypes risk factors for eating behavior and obesity in adults? *Neurosci Lett*. 27(654), 28-32. DOI: 10.1016/j.neulet.2017.06.023.

Bakker, G. J., & Nieuwdorp, M. (2017). Relationship between gut microbiota, energy metabolism, and obesity. In *The Microbiota in Gastrointestinal Pathophysiology* (pp. 255-258). Academic Press.

Ballini, A., Scacco, S., Boccellino, M., Santacroce, L., & Arrigoni, R. (2020). Microbiota and Obesity: Where Are We Now?. *Biology*, 9(12), 415.

Bellenger, J., Bellenger, S., Bourragat, A., Escoula, Q., Weill, P., & Narce, M. (2021). Intestinal microbiota mediates the beneficial effects of n-3 polyunsaturated fatty acids during dietary obesity. *OCL*, 28, 21.

Biyong, E. F., Alfors, S., Dumetz, F., Helbling, J. C., Aubert, A., Brossaud, J., et al. (2021). Dietary vitamin A supplementation prevents early obesogenic diet-induced microbiota, neuronal and cognitive alterations. *International Journal of Obesity*, 45(3), 588-598.

Blaner, W. S. (2019). Vitamin A signaling and homeostasis in obesity, diabetes, and metabolic disorders. *Pharmacology & therapeutics*, 197, 153-178.

Bruce-Keller, A. J., Salbaum, J. M., Luo, M., Blanchard IV, E., Taylor, C. M., Welsh, D. A., & Berthoud, H. R. (2015). Obese-type gut microbiota induce neurobehavioral changes in the absence of obesity. *Biological psychiatry*, 77(7), 607-615.

Cao, S. Y., Zhao, C. N., Xu, X. Y., Tang, G. Y., Corke, H., Gan, R. Y., & Li, H. B. (2019). Dietary plants, gut microbiota, and obesity: Effects and mechanisms. *Trends in Food Science & Technology*, 92, 194-204.

Clarke, S. F., Murphy, E. F., O'Sullivan, O., Lucey, A. J., Humphreys, M., Hogan, A., ... & Cotter, P. D. (2014). Exercise and associated dietary extremes impact on gut microbial diversity. *Gut*, 63(12), 1913-1920.

Coelho, O. G. L., Cândido, F. G., & Alfenas, R. D. C. G. (2019). Dietary fat and gut microbiota: mechanisms involved in obesity control. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(19), 3045-3053.

Crovesy, L., Masterson, D., & Rosado, E. L. (2020). Profile of the gut microbiota of adults with obesity: a systematic review. *European journal of clinical nutrition*, 74(9), 1251-1262.

Çatak, J., Develi, A. Ç., Sorguven, E., Özilgen, M., & İnal, H. S. (2015). Lifespan entropy generated by the masseter muscles during chewing: an indicator of the life expectancy?. *International Journal of Exergy*, 18(1), 46-67.

Çatak, J., Develi, E., & Bayram, S. (2019). Comparison the work of breathing between healthy and obese by thermodynamic analysis. *European Respiratory Journal*; 54(63), PA753.; DOI: 10.1183/13993003.congress-2019.PA753.

Çatak, J. (2020). Quantitative Analyses of Glyoxal and Methylglyoxal Compounds in FrenchFry Samples by HPLC Using 4-Nitro-1, 2-Phenlenediamine as A Derivatizing Reagent. *International Journal of Innovative Research and Reviews*, 4(1), 20-24.

Çatak, J., Develi, E., & Bayram, S. (2021a). How does obesity affect bioenergetics in human respiratory muscles? *Human Nutrition & Metabolism*, 26, 200136 DOI: 10.1016/j.hnm.2021.200136.

Çatak, J., Demirci, A. & Yaman, M. "Besin Alerjileri ve Mikrobiyota." *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 27 (2021b): 902-910.

de Souza, A. Z. Z., Zambom, A. Z., Abboud, K. Y., Reis, S. K., Tannihão, F., Guadagnini, D., et al (2015). Oral supplementation with L-glutamine alters gut microbiota of obese and overweight adults: A pilot study. *Nutrition*, 31(6), 884-889.

Dong, J. L., Zhu, Y. Y., Ma, Y. L., Xiang, Q. S., Shen, R. L., & Liu, Y. Q. (2016). Oat products modulate the gut microbiota and produce anti-obesity effects in obese rats. *Journal of Functional Foods*, 25, 408-420.

Ejtahed, H. S., Soroush, A. R., Siadat, S. D., Hoseini-Tavassol, Z., Larijani, B., & Hasani-Ranjbar, S. (2019). Targeting obesity management through gut microbiota modulation by herbal products: A systematic review. *Complementary therapies in medicine*, 42, 184-204.

Everard, A., & Cani, P. D. (2013). Diabetes, obesity and gut microbiota. *Best practice & research Clinical gastroenterology*, 27(1), 73-83.

Faintuch, J., & Faintuch, S. (Eds.). (2019). *Microbiome and Metabolome in Diagnosis, Therapy, and Other Strategic Applications*. Academic Press.



- Fan, Y., & Pedersen, O. (2020). Gut microbiota in human metabolic health and disease. *Nature Reviews Microbiology*, 1-17.
- Fischer, M., Sipe, B., Torbeck, M., Xu, H., Kassam, Z., & Allegretti, J. R. (2017). Does fecal microbiota transplantation from an obese donor lead to weight gain? a case series of 70 recipients. *Gastroenterology*, 152(5), S1004.
- Fitzpatrick, E., & Dhawan, A. (2019). Childhood and adolescent nonalcoholic fatty liver disease: is it different from adults?. *Journal of Clinical and Experimental Hepatology*, 9(6), 716-722.
- Gizlici, M. N., & Çatak, J. (2019). Diabetes Mellitus ve Çinko İlişkisi. *Türkiye Diyabet ve Obezite Dergisi*, 3(2), 107-113.
- Gumpper, K., Dangel, A. W., Pita-Grisanti, V., Krishna, S. G., Lara, L. F., Mace, T., et al. (2020). Lipocalin-2 expression and function in pancreatic diseases. *Pancreatology*, 20(3), 419-424.
- Hiel, S., Gianfrancesco, M. A., Rodriguez, J., Portheault, D., Leyrolle, Q., Bindels, L. B., et al. (2020). Link between gut microbiota and health outcomes in inulin-treated obese patients: lessons from the Food4Gut multicenter randomized placebo-controlled trial. *Clinical Nutrition*, 39(12), 3618-3628.
- Hu, S., Yang, H., Gao, X., Li, S., Jiang, W., & Liu, Y. (2020). Egg oil from *Portunus trituberculatus* alleviated obesity and regulated gut microbiota in mice. *Scientific Reports*, 10(1), 1-10.
- Kim, D. H., Kim, H., Jeong, D., Kang, I. B., Chon, J. W., Kim, H. S., et al. (2017). Kefir alleviates obesity and hepatic steatosis in high-fat diet-fed mice by modulation of gut microbiota and mycobiota: targeted and untargeted community analysis with correlation of biomarkers. *The Journal of nutritional biochemistry*, 44, 35-43.
- Klancic, T., & Reimer, R. A. (2020). Gut microbiota and obesity: Impact of antibiotics and prebiotics and potential for musculoskeletal health. *Journal of Sport and Health Science*, 9(2), 110-118.
- Lane, M., Howland, G., West, M., Hockey, M., Marx, W., Loughman, A., et al. (2020). The effect of ultra-processed very low-energy diets on gut microbiota and metabolic outcomes in individuals with obesity: A systematic literature review. *Obesity research & clinical practice*.
- Legrand, R., Lucas, N., Dominique, M., Azhar, S., Deroissart, C., Le Solliec, M. A., et al. (2020). Commensal *Hafnia alvei* strain reduces food intake and fat mass in obese mice—A new potential probiotic for appetite and body weight management. *International Journal of Obesity*, 44(5), 1041-1051.
- Li, G., Xie, C., Lu, S., Nichols, R. G., Tian, Y., Li, L., et al. (2017). Intermittent fasting promotes white adipose browning and decreases obesity by shaping the gut microbiota. *Cell metabolism*, 26(4), 672-685.
- Lin, H., An, Y., Hao, F., Wang, Y., & Tang, H. (2016). Correlations of fecal metabolomic and microbiomic changes induced by high-fat diet in the pre-obesity state. *Scientific reports*, 6(1), 1-14.
- Liu, R., Hong, J., Xu, X., Feng, Q., Zhang, D., Gu, Y., et al. (2017). Gut microbiome and serum metabolome alterations in obesity and after weight-loss intervention. *Nature medicine*, 23(7), 859.
- Luck, H., Khan, S., Kim, J. H., Copeland, J. K., Revelo, X. S., Tsai, S., et al. (2019). Gut-associated IgA+ immune cells regulate obesity-related insulin resistance. *Nature communications*, 10(1), 1-17.
- Luthold, R. V., Fernandes, G. R., Franco-de-Moraes, A. C., Folchetti, L. G., & Ferreira, S. R. G. (2017). Gut microbiota interactions with the immunomodulatory role of vitamin D in normal individuals. *Metabolism*, 69, 76-86.
- Ly, N. P., Litonjua, A., Gold, D. R., & Celedón, J. C. (2011). Gut microbiota, probiotics, and vitamin D: interrelated exposures influencing allergy, asthma, and obesity?. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 127(5), 1087-1094.
- Mabey, J. G., Chaston, J. M., Castro, D. G., Adams, T. D., Hunt, S. C., & Davidson, L. E. (2020). Gut microbiota differs a decade after bariatric surgery relative to a nonsurgical comparison group. *Surgery for Obesity and Related Diseases*, 16(9), 1304-1311.
- Mishra, A. K., Dubey, V., & Ghosh, A. R. (2016). Obesity: an overview of possible role (s) of gut hormones, lipid sensing and gut microbiota. *Metabolism*, 65(1), 48-65.
- Miyamoto, J., Igarashi, M., Watanabe, K., Karaki, S. I., Mukoyama, H., Kishino, S., et al. (2019). Gut microbiota confers host resistance to obesity by metabolizing dietary polyunsaturated fatty acids. *Nature communications*, 10(1), 1-15.
- Mojsak, P., Rey-Stolle, F., Parfieniuk, E., Kretowski, A., & Ciborowski, M. (2020). The role of gut microbiota (GM) and GM-related metabolites in diabetes and obesity. A review of analytical methods used to measure GM-related metabolites in fecal samples with a focus on metabolites' derivatization step. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 113617.
- Monda, V., Villano, I., Messina, A., Valenzano, A., Esposito, T., Moscatelli, F., ... & Messina, G. (2017). Exercise modifies the gut microbiota with positive health effects. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2017, 1-8.
- Moran, C. P., & Shanahan, F. (2014). Gut microbiota and obesity: role in aetiology and potential therapeutic target. *Best practice & research Clinical gastroenterology*, 28(4), 585-597.
- Moschen, A. R., Adolph, T. E., Gerner, R. R., Wieser, V., & Tilg, H. (2017). Lipocalin-2: a master mediator of intestinal and metabolic inflammation. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 28(5), 388-397.
- Muscogiuri, G., Cantone, E., Cassarano, S., Tuccinardi, D., Barrea, L., Savastano, S., & Colao, A. (2019). Gut microbiota: a new path to treat obesity. *International journal of obesity supplements*, 9(1), 10-19.
- Nagano, T., & Yano, H. (2020). Dietary cellulose nanofiber modulates obesity and gut microbiota in high-fat-fed mice. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 22, 100214.
- Nakamura, A., Yokoyama, Y., Tanaka, K., Benegiamo, G., Hirayama, A., Zhu, Q., et al. (2020). Asperuloside Improves Obesity and Type 2 Diabetes through Modulation of Gut Microbiota and Metabolic Signaling. *Iscience*, 23(9), 101522.
- Neyrinck, A. M., Rodriguez, J., Zhang, Z., Seethaler, B., Sánchez, C. R., Roumain, M., et al. (2020). Fecal metabolites reflecting the interaction between prebiotic dietary fiber and the gut microbiota in obese patients. *Clinical Nutrition ESPEN*, 40, 521-522.
- Nicolucci, A. C., Hume, M. P., Martínez, I., Mayengbam, S., Walter, J., & Reimer, R. A. (2017). Prebiotics reduce body fat and alter intestinal microbiota in children who are



- overweight or with obesity. *Gastroenterology*, 153(3), 711-722.
- Núñez, I. N., Galdeano, C. M., de LeBlanc, A. D. M., & Perdígón, G. (2014). Evaluation of immune response, microbiota, and blood markers after probiotic bacteria administration in obese mice induced by a high-fat diet. *Nutrition*, 30(11-12), 1423-1432.
- Palmas, V., Pisanu, S., Madau, V., Casula, E., Deledda, A., Cusano, R., et al. (2021). Gut microbiota markers associated with obesity and overweight in Italian adults. *Scientific reports*, 11(1), 1-14.
- Parks, B. W., Nam, E., Org, E., Kostem, E., Norheim, F., Hui, S. T., et al. (2013). Genetic control of obesity and gut microbiota composition in response to high-fat, high-sucrose diet in mice. *Cell metabolism*, 17(1), 141-152.
- Pascale, A., Marchesi, N., Govoni, S., Coppola, A., & Gazzaruso, C. (2019). The role of gut microbiota in obesity, diabetes mellitus, and effect of metformin: new insights into old diseases. *Current opinion in pharmacology*, 49, 1-5.
- Petritz, B. A., Castro, A. P., Almeida, J. A., Gomes, C. P., Fernandes, G. R., Kruger, R. H., et al. (2014). Exercise induction of gut microbiota modifications in obese, non-obese and hypertensive rats. *BMC genomics*, 15(1), 1-13.
- Qiu, X., Macchietto, M. G., Liu, X., Lu, Y., Ma, Y., Guo, H., et al. (2020). Identification of gut microbiota and microbial metabolites regulated by an antimicrobial peptide lipocalin 2 in high fat diet-induced obesity. *International Journal of Obesity*, 45(1), 143-154.
- Quiroga, R., Nistal, E., Estébanez, B., Porras, D., Juárez-Fernández, M., Martínez-Flórez, S., et al. (2020). Exercise training modulates the gut microbiota profile and impairs inflammatory signaling pathways in obese children. *Experimental & Molecular Medicine*, 52(7), 1048-1061.
- Rabot, S., Membrez, M., Blancher, F., Berger, B., Moine, D., Krause, L., et al. (2016). High fat diet drives obesity regardless the composition of gut microbiota in mice. *Scientific reports*, 6(1), 1-11.
- Reijnders, D., Goossens, G. H., Hermes, G. D., Neis, E. P., van der Beek, C. M., Most, J., et al. (2016). Effects of gut microbiota manipulation by antibiotics on host metabolism in obese humans: a randomized double-blind placebo-controlled trial. *Cell metabolism*, 24(1), 63-74.
- Rodriguez, J., Neyrinck, A., Le Roy, T., Leclercq, S., Hiel, S., Cani, P., et al. (2018). Implication of the gut microbiota in personalized metabolic response to dietary inulin in obese patients. *Clinical Nutrition*, 37, S148.
- Rosenbaum, M., Knight, R., & Leibel, R. L. (2015). The gut microbiota in human energy homeostasis and obesity. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 26(9), 493-501.
- Sanchez-Carrillo, S., Ciordia, S., Rojo, D., Zubeldia-Varela, E., Méndez-García, C., Martínez-Martínez, M., et al. (2021). A body weight loss-and health-promoting gut microbiota is established after bariatric surgery in individuals with severe obesity. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 193, 113747.
- Schroeder, B. O., & Bäckhed, F. (2016). Signals from the gut microbiota to distant organs in physiology and disease. *Nature medicine*, 22(10), 1079.
- Sen, T., Cawthon, C. R., Ihde, B. T., Hajnal, A., DiLorenzo, P. M., Claire, B., & Czaja, K. (2017). Diet-driven microbiota dysbiosis is associated with vagal remodeling and obesity. *Physiology & behavior*, 173, 305-317.
- Sergeev, I. N., Aljutaily, T., Walton, G., & Huarte, E. (2020). Effects of synbiotic supplement on human gut microbiota, body composition and weight loss in obesity. *Nutrients*, 12(1), 222.
- Shen, Q., & Maitin, V. (2015). Obesity-associated gut microbiota: characterization and dietary modulation. In *Diet-Microbe Interactions in the Gut* (pp. 149-171). Academic Press.
- Thomaz, F. S., Tomsett, K. I., Panchal, S. K., Worrall, S., & Nitert, M. D. (2020). Wasabi supplementation alters the composition of the gut microbiota of diet-induced obese rats. *Journal of Functional Foods*, 67, 103868.
- Torres-Fuentes, C., Schellekens, H., Dinan, T. G., & Cryan, J. F. (2017). The microbiota-gut-brain axis in obesity. *The Lancet Gastroenterology & hepatology*, 2(10), 747-756.
- Toubal, A., Kiaf, B., Beaudoin, L., Cagninacci, L., Rhimi, M., Fruchet, B., et al. (2020). Mucosal-associated invariant T cells promote inflammation and intestinal dysbiosis leading to metabolic dysfunction during obesity. *Nature communications*, 11(1), 1-20.
- Upadhyay, V., Poroyko, V., Kim, T. J., Devkota, S., Fu, S., Liu, D., et al. (2012). Lymphotoxin regulates commensal responses to enable diet-induced obesity. *Nature immunology*, 13(10), 947.
- Wang, P., Gao, X., Li, Y., Wang, S., Yu, J., & Wei, Y. (2020). *Bacillus natto* regulates gut microbiota and adipose tissue accumulation in a high-fat diet mouse model of obesity. *Journal of Functional Foods*, 68, 103923.
- Wang, Y., Yao, W., Li, B., Qian, S., Wei, B., Gong, S., et al. (2020). Nuciferine modulates the gut microbiota and prevents obesity in high-fat diet-fed rats. *Experimental & Molecular Medicine*, 1-17.
- Wei, M., Huang, F., Zhao, L., Zhang, Y., Yang, W., Wang, S., et al. (2020). A dysregulated bile acid-gut microbiota axis contributes to obesity susceptibility. *EBioMedicine*, 55, 102766.
- Wilkins, A. T., & Reimer, R. A. (2021). Obesity, Early Life Gut Microbiota, and Antibiotics. *Microorganisms*, 9(2), 413.
- Yu, E. W., Gao, L., Stastka, P., Cheney, M. C., Mahabamunage, J., Torres Soto, M., et al. (2020). Fecal microbiota transplantation for the improvement of metabolism in obesity: the FMT-TRIM double-blind placebo-controlled pilot trial. *PLoS medicine*, 17(3), e1003051.
- Zhang, C., Yin, A., Li, H., Wang, R., Wu, G., Shen, J., et al. (2015). Dietary modulation of gut microbiota contributes to alleviation of both genetic and simple obesity in children. *EBioMedicine*, 2(8), 968-984.
- Zhang, C., Zhang, M., Pang, X., Zhao, Y., Wang, L., & Zhao, L. (2012). Structural resilience of the gut microbiota in adult mice under high-fat dietary perturbations. *The ISME journal*, 6(10), 1848-1857.
- Zhao, L. (2013). The gut microbiota and obesity: from correlation to causality. *Nature Reviews Microbiology*, 11(9), 639-647.
- Zmora, N., Suez, J., & Elinav, E. (2019). You are what you eat: diet, health and the gut microbiota. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 16(1), 35-56.



# PLC-based Industrial Hardware Control with Mobile Application

Alaa Hamayel<sup>1</sup>, Sıtkı Öztürk<sup>2</sup>, Fatma Kuncan<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Kocaeli University, Department of Electronics and Communication Engineering, Kocaeli, Turkey (ORCID: 0000-0001-7130-7673), [alaahamayel09@gmail.com](mailto:alaahamayel09@gmail.com)

<sup>2</sup> Kocaeli University, Department of Electronics and Communication Engineering, Kocaeli, Turkey (ORCID: 0000-0003-3804-5581), [sozturk@kocaeli.edu.tr](mailto:sozturk@kocaeli.edu.tr)

<sup>3</sup> Siirt University, †Department of Computer Engineering, Siirt, Turkey (ORCID: 0000-0003-0712-6426), [fatmakuncan@siirt.edu.tr](mailto:fatmakuncan@siirt.edu.tr)

(First received 19 September 2021 and in final form 27 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.997562)

**ATIF/REFERENCE:** Hamayel, A., Öztürk, S., & Kuncan, F. (2021). PLC-based Industrial Hardware Control with Mobile Application. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 292-297.

## Abstract

Recently, mobile and its various applications have become widespread. Since these applications provide many advantages in industrial control systems, it is considered as a low cost and portable SCADA or HMI. The designed mobile application can replace the control panels used in the field of industrial automation. In this study, as hardware control with mobile application, conveyor system control with mobile application was made. The connection between the mobile and the PLC is established using the TCP/IP communication protocol. S7-1200 PLC and S7-1500 PLC developed by Siemens were used in this system. In addition, a Switch is used to create the network environment of the PLCs and mobile device. In this conveyor system, the iron and plastic objects entering the system are separated from each other, and at the end of the process, the plastic objects are placed on the iron objects and removed from the conveyor. During this process, the values and transactions that occur in the system are monitored and controlled in Real Time via mobile. This study provides ease of development of mobile applications for any Industrial system that may include any SCADA or HMI. The development method of the mobile application and the communication of the established system will add new developments to industrial systems in many areas.

**Keywords:** Mobile application, Industrial hardware, PLC, TCP/IP, Conveyor system, Control.

# Mobil Uygulama ile PLC Tabanlı Endüstriyel Donanım Kontrolü

## Öz

Günümüzde mobil ve çeşitli uygulamaları yaygınlaşmıştır. Bu uygulamalar endüstriyel kontrol sistemlerinde bir çok avantaj sağladığından dolayı, düşük maliyetli ve taşınabilir bir SCADA yada HMI olarak düşünülmektedir. Tasarlanan mobil uygulaması endüstriyel otomasyon alanında kullanılan kontrol panolarının yerine geçebilmektedir. Bu çalışmada, Mobil uygulaması ile donanım kontrolü olarak, mobil uygulaması ile Konveyör sistemi kontrolü yapılmıştır. Mobil ve PLC arasındaki TCP/IP haberleşme protokolü kullanarak bağlantı kurulmuştur. Bu sistemin içinde Siemens tarafından geliştirilen 2 adet S7 PLC kullanılmıştır. S7-1200 PLC ve S7-1500 PLC kullanılmıştır. Ayrıca, PLC'leri ve mobil cihazının ağ ortamı oluşturmak için bir adet Switch de kullanılmıştır. Bu konveyör sisteminde, sisteme giren demir ve plastik nesnelere birbirinden ayırıp, işlemin sonunda plastik nesnelere demir nesnelere üzerine oturtması ve konveyörden çıkartmaktadır. Bu işlem sırasında, sistemde oluşan değerler ve gerçekleşen işlemler mobil üzerinden Real Time olarak takip ve kontrol edilmektedir. Bu çalışma, her türlü SCADA ya da HMI içerebilecek herhangi bir Endüstriyel sistem için mobil uygulamaların geliştirme kolaylığı sağlamaktadır. Mobilin uygulamasının geliştirme yöntemi ve kurulan sistemin haberleşmesi, Endüstriyel sistemlere birçok alanda yeni gelişmeler katacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Mobil uygulama, Endüstriyel donanım, PLC, TCP/IP, Konveyör sistemi, Kontrol.

\*Corresponding Author: [fatmakuncan@siirt.edu.tr](mailto:fatmakuncan@siirt.edu.tr)

## 1. Introduction

Today, much attention is paid to the field of industry. Due to the studies on the industry that started in the last Industrial Revolution, there have been great developments in production. The use of machines and computers in factories and production lines for faster and safer production has had a great impact on the industry. In the last years, many researchers have widely preferred conveyor belt studies for both industrial and academic studies. These studies are carried out successfully in different applications (IoT, Mobile application, PID, Fuzzy Logic etc.) by using certain hardware (PLC, Control cards, FPGA etc. cards) for conveyor belt studies [1-4].

In literature studies, PLC control with mobile application, TCP/IP communication protocol, remote PLC control, object sorting conveyor system etc. [5-9]. In the thesis prepared by Fan Chen, Zhizheng Wu, Pan Luo and Zhuoer Shen In 2020, Design of SCADA System for Stainless Steel Pipe Production Line. Scada is designed for PLC in Visual Studio using S7.NetPlus C# driver [10]. In the article published by Öznur Şengül in 2020, color-based object separation was performed on the conveyor belt using PLC and Operator panel. Object recognition and parsing process has been processed in real time [11]. In the thesis prepared by Arif Tunuz in 2019, problems, solutions and gains in IoT application in iron and steel industry. Distance, cyber security and magnetic field problems encountered in the implementation of IoT in iron and steel industry were investigated and the corresponding solution suggestions were presented [12].

In this study, Industrial Automation system was controlled by using Internet of Things technology. As shown in Figure 1.1, the modules to be used in the system to be created in this study are; PLC S7-1200 and S7-1500 will be used as industrial controllers. The mobile application, which is also designed, will be installed on the phone device and the system will be audited via mobile. The communication between the telephone device and the PLC connected in the same local network with the switch is ensured. With the mobile application, the process of getting the result from the PLC, giving the command to the PLC, in short, controlling and monitoring the PLC is done with the phone connected to the same local network. The reason for using the local network is because it is very common to communicate over PLC TCP. It contains function blocks that enable communication over TCP in PLC. Also, since the control takes place over the local network, it prevents dangers such as any hacker attack that will occur over the Internet Servers. In this study, communication of more than two different devices in the same local network over TCP data transmission protocol is carried out. It provides communication between PLC and Mobile device using TCP protocol.



Figure 1.1: Topology of the system

Easy design and programming of mobile applications provides convenience in automation control. System control is performed over the IP address determined in the Switch with PLC. In the local network, the Master (Mobile) is the Slave (PLC) and is responsible for routing in the Mobile data exchange process.

## 2. Communication of the System

S7netPlus is a PLC driver that works with Siemens PLCs and only with Ethernet connection. This means that PLCs must have a Profinet CPU or a profinet external card (CPxxx card). S7.NetPlus is written entirely in C#. Compatible with S7.NetPlus, S7-200, S7-300, S7-400, S7-1200, S7-1500 [13]. Thanks to this driver, since PLC can be accessed directly from the phone, it does not require any extra software such as TCP function blocks in the PLC software. The S7.NetPlus driver has codes to be used in the Master device connected to the PLC, certain commands and sequences to establish a communication bridge. As mentioned, Visual Studio was used to develop the Mobile application. After adding the S7.Net driver to the program, a certain code sequence must be used to connect the Master device to the Slave device (PLC). As shown in Figure 2.1, this sequence starts from the process of determining the target PLC type, IP address, Racks and Slots. Then, by sending a TCP connection request to the PLC with the `plc.open()` command, as seen in Figure 2.3, the Master (computer or mobile) device will be connected to the S7 PLC when it receives a positive response. The default port for TCP/IP connections in S7 PLCs is 102 port. In most cases the PLC will only accept on port 102. As shown in Figure 2.2, in order for the PLC to respond positively to the TCP connection request and to establish the connection with the master device, full access feature (no protection) must be selected from the access degree option in the Protection and Security section of the PLC's settings via TIA Portal.

```
using (var plc = new Plc(CpuType.S71200, "192.168.2.15", 0, 1))
{
    plc.Open();

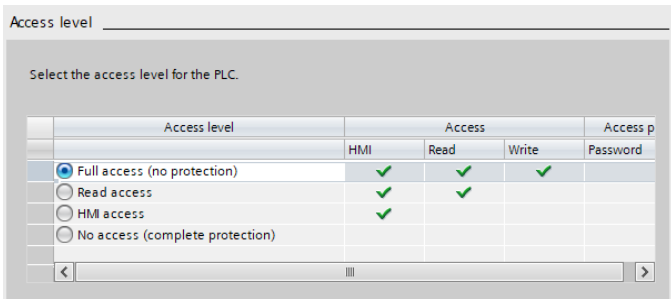
    byte[] db1Bytes = new byte[18];

    plc.Write("DB1.DBX0.0", true);

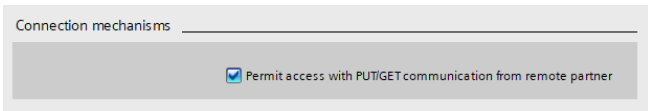
    plc.Write("DB1.DBX0.1", false);
    plc.Close();
}
```

Figure 2.1: C# code example that connects with S7 PLC on the master device and writes Boolean values to Data Blocks

In addition, PUT/GET communication with another partner must be allowed from the connection mechanisms option. By making these settings, the target PLC will respond positively to any TCP connection request and the master device will be able to establish a connection with the PLC.



(a) Full access (no protection)



(b) Permit access with PUT/GET communication in Connection mechanisms

Figure 2.2: Settings required to establish TCP connection in S7 PLC

After establishing a connection between the Master and Slave, it is the turn of the operation intended to be performed in this communication. The data exchange to be made with the PLC, by accessing the data blocks inside the PLC, the Master device performs value reading or writing at the addresses previously determined by the user. When the master device establishes the connection with the PLC, it cannot find the data block to be processed. Data blocks allow only optimized block access by default. As shown in Figure 2.3, when the Optimized block access requirement is removed from the Attributes section of the data block settings, the master will be able to read or write the data in the specified block according to their addresses.

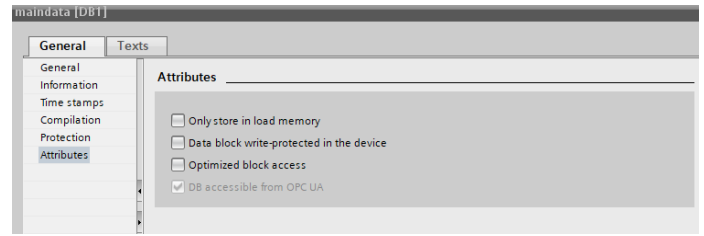


Figure 2.3: Removal of optimized block access requirement

After the optimized block access requirement is removed, the offset value for each variable will be seen inside the data block. These offsets show the location of each variable in memory. As seen in Figure 2.4, the memory space of each variable varies according to its type. Boolean type variables occupy 1 bit of memory. Integer values take up 2 bytes (16 bits), Real values take up 4 bytes and String values take up 256 bytes.

Data_block_1				
	Name	Data type	Offset	Start value
1	Static			
2	testbool	Bool	0.0	false
3	testbool1	Bool	0.1	false
4	testint	Int	2.0	0
5	testword	Word	4.0	16#0
6	testbool2	Bool	6.0	false
7	testbool3	Bool	6.1	false
8	testreal	Real	8.0	0.0
9	teststring	String	12.0	"
10	testbool4	Bool	268.0	false

Figure 2.4: Variable offsets in the data block and space coverage by type

As shown in Figure 2.1, True value will be written to DB1.DBX0.0 address in 'plc.write' command. DB1; It stands for data\_block\_1. In DBX, the type of the variable is set to Boolean in the data block. 0.0 is the previously mentioned offset; is the address of the space it occupies in memory. Likewise, False will be written to the address DB1DBX0.1. The address DB1.DBX0.0 matches the address of the 'testbool' variable seen in Figure 2.4. The address DB1.DBX0.1 matches the address of the testbool1 variable seen in figure 2.4. When the code shown in Figure 2.1 is run, the value of the 'testbool' variable will be 'True', and the value of the 'testbool1' variable will be False.

### 3. Operating Object Separating Conveyor System as Hardware Control with Mobile Application Implementation

Conveyor application was carried out as an example of PLC control with mobile. The main job of this conveyor is to separate plastic and iron. After separating the iron and plastic, he removes the piece of plastic so that it sits on top of the piece of iron. In this process, it turns the system on and off, counts the number of iron and plastic parts, gives separation information and transfers the belt speed to the mobile application in real-time. In addition, the equipment on the conveyor is manually controlled by the mobile application. Figure 3.1 shows the implemented conveyor system.





Figure 3.1: Conveyor system

Two PLCs are used in this sample application. Encoder application was made with S7-1500 PLC. This Encoder calculates the revolutions per minute of the normal belt of the conveyor and transfers this value to the mobile application in real-time. S7-1200 PLC is connected to the Conveyor. S7-1200 PLC is responsible for directing the plastic and iron objects brought by the toothed conveyor to separate belts and placing the plastic objects on the iron objects. It also transfers the steps and results of this process to the mobile application in real-time. The topology shown in Figure 3.2, the mobile application and the object sorting conveyor system as a hardware control application, the network map established between the PLCs and the phone, and the material used in the system are shown.

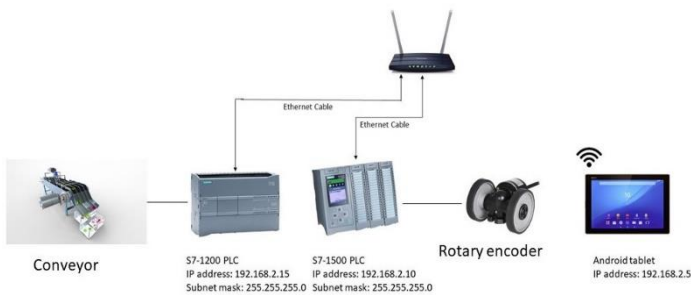


Figure 3.2: Object separating conveyor system as an implementation of hardware control with mobile application

As shown in Figure 3.3, the algorithm shows input, output and process flow of the system. Also the mobile app monitoring of the system is shown in the algorithm. Basically, the system works in full automatic after run button is pressed. But the same time, object separation can be controlled manually from the mobile app, just emergency situations where it is required to intervene the process of the system.

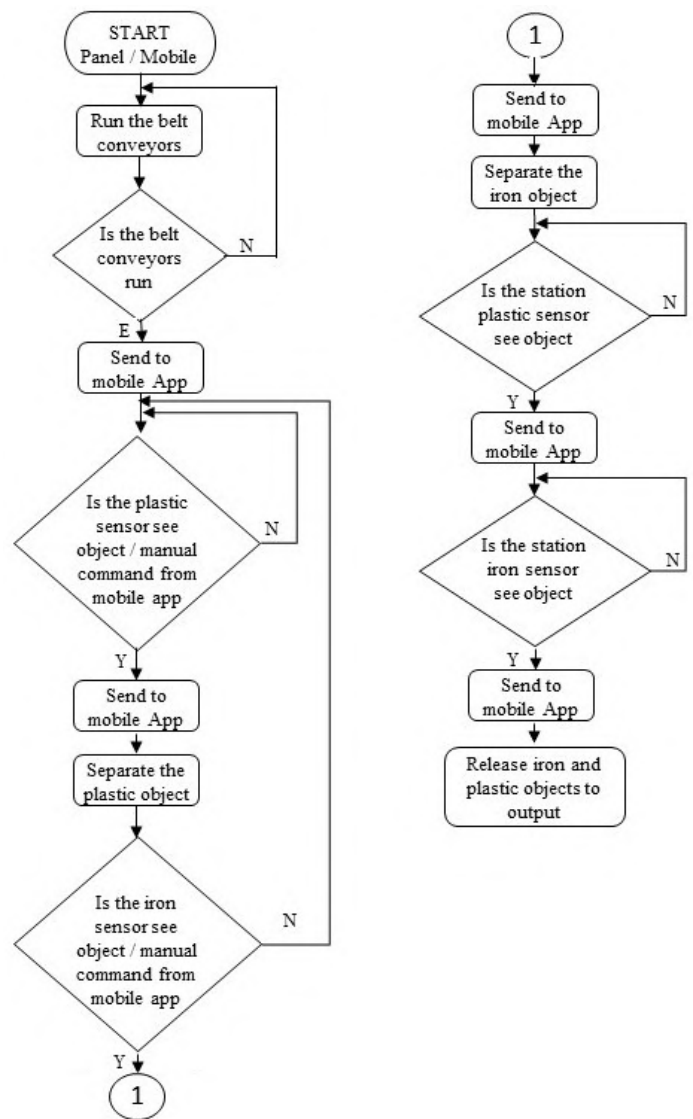


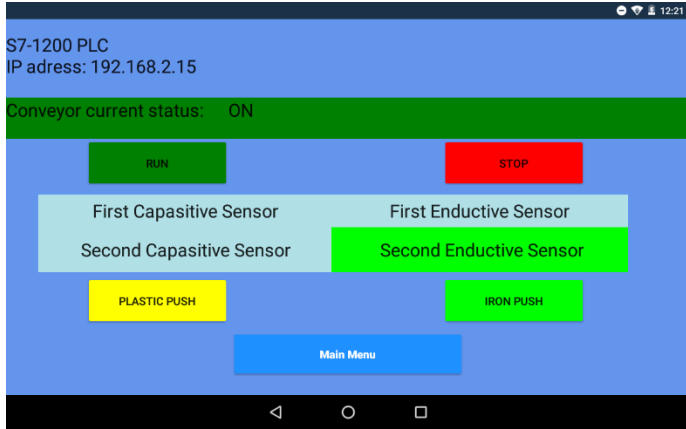
Figure 3.3: System Algorithm

### 3.1 Development of Mobile Application

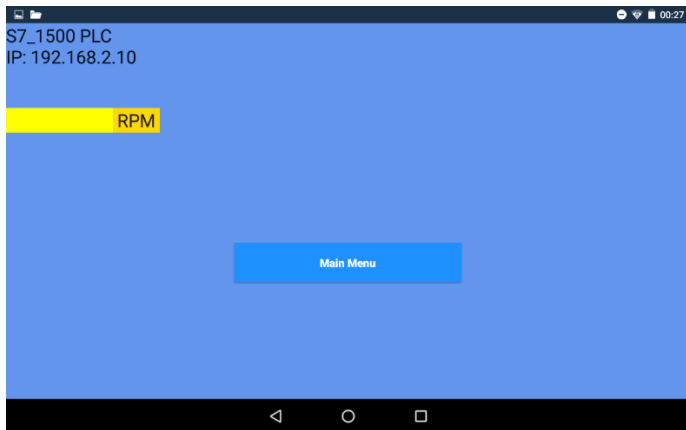
In this study, the developed application is designed to provide the best interaction with the user according to the hardware. The designed application has been developed for mobile device using the Android operating system.

The developed application consists of three interfaces: the interface, the interface that displays the speed of the normal belt of the conveyor in real time, and finally the interface that provides control of the conveyor and monitors the separation process. In the interface shown in Figure 3.4(a), the speed information of the normal belt is displayed in real time. This displayed information is calculated by the S7-1500 PLC. Each interface has different C# code according to the operation it will perform in the application. The result of the operation performed in the code part or the command entered from the interface is transferred to the main code. In the interface shown in Figure 3.4(b), the process of controlling the conveyor and following the object separation process is performed. In this interface, the working status and whether the sensors see the objects are reflected on the screen in real time. The color change of the box

in which these data will be displayed, as seen in Figure 3.4(b), turns ON when the system is in operation, and where it is written turns green. If the system is not active, OFF is written and the place where it is written turns into red. The outputs of the sensors change color to show whether they see an object or not.



a) Interface that performs the control of the conveyor and monitors the separation process of the objects



b) Screenshot of the interface of the developed application, which includes the speed of the normal belt

Figure 3.4: Application of Interfaces

```

Mobile Application Pseudo Code for S7-1200 PLC
Target plc info (type: 1200, IP: 192.168.2.15, rack 0,slot 1)
Connect
Plastic push button clicked
(
  Write True to DB1.DBX0.4
  Set DB1.DBX0.4 to False
)
Run button clicked
(
  Write True to DB1.DBX0.0
  Set DB1.DBX0.0 to False
)
Execution timer every 250 ms
(
  Target plc info (type: 1200, IP: 192.168.2.15, rack 0,slot 1)
  Connect
  Stop button clicked
  (
    Write True to DB1.DBX0.2
    Set DB1.DBX0.2 to False
  )
  Target plc info (type: 1200, IP: 192.168.2.15, rack 0,slot 1)
  Connect
  Iron push button clicked
  (
    Write True to DB1.DBX0.3
    Set DB1.DBX0.3 to False
  )
)

Target plc info (type: 1200, IP: 192.168.2.15, rack 0,slot 1)
Connect
Else If status control = false
  Text = off and label is red
  If cap sensor 1 = true
    Label is yellow
  If cap sensor 2 = true
    Label is green
  If end sensor 1 = true
    Label is yellow
  If end sensor 2 = true
    Label is green
)

Mobile Application Pseudo Code for S7-1500 PLC
Execution timer every 1000 ms
(
  Target plc info (type: 1500, IP: 192.168.2.12, rack 0,slot 1)
  Connect
  Read DB2.DBX6.0
  Print value on screen
)
    
```

Figure 3.5: Pseudocode for mobile application

In Figure 3.5, a Pseudocode for mobile application shown. This code show the programming algorithm of establishing connection with PLC, read and write data to PLC.

### 3.2 Real Time Operation of the System

In this part of the study, the phases of monitoring, examining and testing the system in real time were carried out.

#### 3.2.1 Calculating Belt Speed with S7-1500 PLC

By placing the encoder on the normal belt, it calculates how many revolutions per minute that belt makes. Encoder S7-1500 is connected to Time counter module on PLC. As shown in Figure 3.6, the High Speed Counter block is used in Tia Portal. Measured Value represents how many revolutions per minute the belt rotates. This measured value is displayed in Data Block 2 and transferred to the mobile application from there.

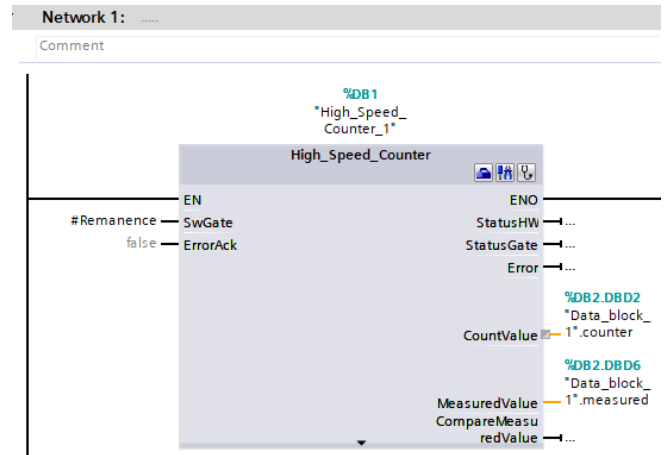


Figure 3.6: High Speed Counter

Equation (1) shows the speed counts/millisecond, where  $C_0$  is the initial value of counts at time  $T_0$ , and  $C_1$  is the value of counts at  $T_1$ . While  $T_0$  and  $T_1$  are the count time [14]. In this study,  $(T_1 - T_0)$  is considered as 250 milliseconds, which is set from PLC. As so, the speed is determined every 250 milliseconds. As for counts value,  $C_0$  is always set to zero,  $C_1$  is set to zero and the count starts again every time after speed is determined, which is in this case is 250 milliseconds.

$$Speed = \frac{(C_1 - C_0)}{(T_1 - T_0)} \quad (1)$$

$$M_{RPM} = Speed \times \frac{60 \text{ Seconds}}{1 \text{ minute}} \times \frac{1 \text{ revolution}}{E_C} \quad (2)$$

In equation (2) shown above, after Speed is calculated, the  $M_{RPM}$  is determined by this equation.  $E_C$  stands for encoder's count, which is the value encoder counts every revolution, the encoder used in this study holds 400 counts every single revolution, so  $E_C$  value equals 400.

#### 3.2.2 Operating the Conveyor System with the S7-1200

S7-1200 PLC is connected to the equipment of the conveyor. This PLC will perform parsing and other operations as mentioned before. In addition, it will be controlled via the Mobile application, as well as via the dashboard. In other words,

conveyor control will be on both the Mobile application and the panel. In Figure 3.7, the Data block that the mobile application will access as the object sorting conveyor system S7-1200 PLC and the variables in it.

maindata					
	Name	Data type	Offset	Start value	Retain
1	Static				<input type="checkbox"/>
2	run	Bool	0.0	false	<input type="checkbox"/>
3	buffer	Bool	0.1	false	<input type="checkbox"/>
4	stop	Bool	0.2	false	<input type="checkbox"/>
5	demir itme	Bool	0.3	false	<input type="checkbox"/>
6	plastik itme	Bool	0.4	false	<input type="checkbox"/>
7	status control	Bool	0.5	false	<input type="checkbox"/>
8	cap sensor 1	Bool	0.6	false	<input type="checkbox"/>
9	cap sensor 2	Bool	0.7	false	<input type="checkbox"/>
10	end sensor 1	Bool	1.0	false	<input type="checkbox"/>
11	end sensor 2	Bool	1.1	false	<input type="checkbox"/>

Figure 3.7: S7-1200 PLC Data Block.

## 4. Conclusion and Suggestions

In this study, the aim sought from the hardware control with the mobile application has been successfully achieved. The mobile application developed in C# programming language, connecting with S7 PLCs and data exchange resulted in success. In any system installed with S7 PLCs, its mobile control has become usable according to the purpose of establishing that system and the operations performed. In this study, it is thought that the conveyor system, which separates objects as a hardware control application with its mobile application, provides a greater effect than any control panel or HMI, remote control and tracking.

In the conveyor system, real-time control and monitoring of the real-time processes resulted in maximum efficiency and success. This study can be taken as an example of hardware control with its mobile application for many systems in the industry. To make this work more advanced and useful, there are a number of operations. One of them; during the connection with the mobile device and PLC, in case the connection cannot be established, it is trying to provide the opportunity to transfer the reason for not connecting to the user. In addition, since this work takes place over the local server, it will be more effective and beneficial if it is done over the Internet server.

## 5. References

[1] Çubukçu A., Öztürk S., Kuncan M., DC Motor Hız Kontrolünün Görüntü İşleme ve OPC Kullanarak S7-1200'de Gerçeklenmesi, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK'2014), Kocaeli, 836-841, (2014).

[2] Köse, İ., Öztürk, S., & Kuncan, M. (2019). Pantography application with real-time PLC based on image processing in gantry robot system. *European Journal of Technique (EJT)*, 9(2), 219-229.

[3] Erol, F., Emren, M., Öztürk, S., & Kuncan, M. (2015). PI denetleyici ile sıvı seviye kontrolünün gerçek zamanlı olarak PLC ile gerçekleştirilmesi. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*. 506- 511.

[4] Tekinalp, Z., Öztürk, S., & Kuncan, M. (2013). OPC Kullanılarak Gerçek Zamanlı Haberleşen Matlab ve PLC

Kontrollü Sistem. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK2013*, 26-28.

[5] Bargal, N., Deshpande, A., Kulkarni, R., & Moghe, R. (2016). PLC based object sorting automation. *International Research Journal of Engineering and Technology, IRJET*, 3(07).

[6] Martin Kajan, Ján Šovčík, František Duchoň, Leo Mrafko, Martin Florek, Peter Beňo, Sensoric subsystem of automated guided vehicle: TCP communication between SIMATIC S7 PLC and Arduino, 2014 23rd International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD), Smolenice, Slovakia, 2014.

[7] Kamboj, D., & Diwan, A. (2019). Development of Automatic Sorting Conveyor Belt Using PLC. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10(8).

[8] Theodoros Lantzios, George Koykoyris, Michail Salampasis (2013). FarmManager: an Android application for the management of small farms. 6th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (HAICTA 2013).

[9] Khatri N., Sharma A., Khatri K.K., Sharma G.D. (2018) An IoT-Based Innovative Real-Time pH Monitoring and Control of Municipal Wastewater for Agriculture and Gardening. In: Somani A., Srivastava S., Mundra A., Rawat S. (eds) *Proceedings of First International Conference on Smart System, Innovations and Computing. Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 79. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5828-8\\_34](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5828-8_34).

[10] Fan Chen, Zhizheng Wu, Pan Luo, Zhuoer Shen (2020). Design of SCADA System for Stainless Steel Pipe Production Line. 2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC 2020) Department of Precision mechanical engineering, Shanghai University Shanghai, China.

[11] Şengül, Ö., Öztürk, S., & Kuncan. M. (2020). Color Based Object Separation in Conveyor Belt Using PLC. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 401-412.

[12] Arif Tunuz, Demir Çelik Endüstrisi'nde IoT uygulamalarındaki sorunlar, çözümler ve kazanımlar / Problems, solutions and gains of IoT applications in iron steel industry (2019). İskenderun Teknik Üniversitesi / Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı.

[13] <https://github.com/S7NetPlus/s7netplus/wiki/>, (Visit date: 06/03/2021).

[14] Craig, K. Optical Encoders. Retrieved 25 July 2018 [http://engineering.nyu.edu/mechatronics/Control\\_Lab/Criag/Craig\\_RPI/SenActinMecha/S&A\\_Optical\\_Encoders.pdf](http://engineering.nyu.edu/mechatronics/Control_Lab/Criag/Craig_RPI/SenActinMecha/S&A_Optical_Encoders.pdf), (Visit date: 05/04/2021).



# Uşak İlinde Meydana Gelen Trafik Kazalarının İncelenmesi

Jülide Öner<sup>1\*</sup>, Halil Ersoysal<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Uşak, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3229-152X), julide.oner@usak.edu.tr

<sup>2</sup> Uşak Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Uşak, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1598-9010), halilersoyasal@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 17 Eylül 2021 ve Kabul Tarihi 3 Kasım 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.996702)

**ATIF/REFERENCE:** Öner, J. & Ersoysal, H. (2021). Uşak İlinde Meydana Gelen Trafik Kazalarının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 298-308.

## Öz

Araç sahipliğinde günden güne meydana gelen artış, trafik kaza oranlarında da artışları beraberinde getirmektedir. Artan araç sayısı, trafik güvenliğinin azalmasına dolayısıyla trafikte meydana gelen ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı kazaların artmasına sebep olmaktadır. Bu çalışma kapsamında D300 karayolunun Uşak ili sınırları içerisindeki kesiti üzerinde meydana gelen kazalar incelenmiştir. Uşak Emniyet Müdürlüğü, Trafik Tescil Ve Denetleme Şube Müdürlüğü'nden temin edilen verilerden yola çıkarak Uşak ili için araç sahipliği, D300 yolundaki kazaların il geneli kazalarla karşılaştırılması ve D300 karayoluna ait kaza koordinatlarının incelenmesi ele alınmıştır. Kaza koordinatlarına göre yoğunluğun yüksek olduğu bölgelerde; trafik güvenliğinin artırılması, ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı kazaların önlenmesi adına yeni yapı imalatları (battı-çıkı uygulaması), üst geçit uygulamaları, yaya geçişini kontrol altına alma amacıyla orta kaldırıma set çekme uygulamaları, yol geometrisi düzenleme gibi uygulamaların varlığı tespit edilmiştir. Kaza sayısı yüksek olan; Hacıkadem Kavşağı, Dikilitaş Kavşağı, 15 Temmuz Mehmet Çetin Köprüsü Kavşağı ve öncesi 1. Bölüm, Dört Yol Kavşağı ve Belediye Cami Kavşağı bölgeleri için alınan önlemlerin etkinliğini arttırmak amacıyla hız sınırlama çalışmasının yapılması gerekli görülmüştür. D300 karayolunun etkinliği göz önüne alınarak kasis ve trafik ışığı gibi hız sınırlama yöntemlerinden ziyade son yıllarda kullanımı yaygınlaşan ortalama hız koridoru uygulamasının tercih edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Trafik kazaları, D300 karayolu, Trafik güvenliği, Hız koridoru, Yüksek hız.

## Investigation of Traffic Accidents in the Province of Uşak

### Abstract

The increase in car ownership from day to day also leads to an increase in traffic accident rates. Increasing number of vehicles, reduced traffic safety, resulting in traffic fatalities, injuries and property damage causes an increase in accidents. As part of this study, the cross-section of the D300 highway in the border of Uşak province the accidents that occurred were investigated. Based on the data provided by Uşak Police Department Traffic Registration and Supervision Branch Directorate; vehicle ownership for Uşak province, accidents on D300 road comparison of accidents in general and investigation of accident coordinates were tried to be determined. In areas where the intensity is high according to accident coordinates; new constructions manufacturing (sunk out road application), upper crossing applications, middle lift set towing applications to take the pedestrian crossing under the control, road geometry alignment have been identified in the name of increasing traffic safety, enabling fatal, injured and property damage accidents. High number of accidents; Hacıkadem Junction, Dikilitaş Junction, 15 Temmuz Mehmet Çetin Bridge Junction and before 1. Section, Dört Yol Junction and Municipal Mosque Junction in order to increase the effectiveness of the measures taken for their regions, it was necessary to conduct a speed limit study.

**Keywords:** Traffic accidents, D300 highway, Traffic safety, Speed corridor, High speed.

\* Sorumlu Yazar: [julide.oner@usak.edu.tr](mailto:julide.oner@usak.edu.tr)



## 1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde karayolu trafiğindeki araç sayısı her geçen gün artmakta bu da beraberinde karayollarında istenmeyen trafik sıkışıklıklarına sebep olmaktadır (Tenekeci, 2019). Karayolu taşıyıcılığı açısından bakıldığında ülkemizde ulaşım ve taşıma hizmetlerinin %95'e yakını karayolu ile yapılmaktadır (Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu Raporu Trafik Düzeni, 2001). Her geçen gün artan değerlere ulaşan trafik yoğunluğu sonucu trafik güvenliğinin önemi artmaktadır (Civcik ve Koçak, 2020). Trafik yoğunluğunun azaltılmasının çevresel ve ekonomik olarak birçok faydası bulunmaktadır (Güneş ve ark., 2020). Trafikte meydana gelen yoğunluk sürücülerin trafik kurallarını ihlal eğilimlerinin artmasına sebep olmaktadır (Aydın, 2017). Trafik güvenliğini tehdit eden unsurların en başında aşırı hız gelmektedir. Aşırı hız kavramı karayolu için belirlenen hız limitlerinin sürücüler tarafından ihlal edilerek yüksek hızlarda hareket edilmesi anlamına gelmektedir. Karayollarında yolun bağlı olduğu kamu idaresince hız limitleri belirlenmektedir. Sürücüler tarafından hız limitlerinin üzerinde hareket etmeler sonucu şehir içi ve şehirlerarası yollarda birçok ölümlü ve yaralanmalı kaza meydana gelmektedir (Ng ve Small, 2012).

Meydana gelen trafik kazaları sonucu can kayıpları yaşanması ve yaralanmaların meydana gelmesi yanı sıra maddi hasarlı kazalar ile ekonomik kayıplar yaşanmaktadır. Kazalar sonucu kişiler üzerinde ruhsal yönden stres bozukluğu durumları görülebilmektedir. Ayrıca sosyo-ekonomik yönden olası uzun süreli tedavi masrafları, üretim kayıpları, kurtarma ve polislik hizmetleri için harcanan zaman gibi kayıplar söz konusu olmaktadır (European Transport Safety Council, 2007).

Dünya'da ve Türkiye'de aşırı hızdan kaynaklanan kazaların yüksek orana sahip olmasından dolayı gerek araştırmacılar gerekse yetkililer tarafından bu problemin çözümüne yönelik çalışma yapma gereksinimi ortaya çıkmıştır. Ülkeler çeşitli hız denetim sistemleri üzerinde çalışarak trafikteki yüksek hız problemini çözmek istemektedir. Radar cihazı ve polis denetimi sistemi bu sistemlerden en yaygın olarak tercih edilmektedir (Goldenbeld ve Van Schagen, 2005). Radarla hız denetimi birçok ülkede tercih edilen bir denetim sistemidir. Radarla hız denetimi Türkiye'de de şehir içi ve şehirlerarası hız denetiminde uygulanan bir sistemdir (Şahin, 2004). Bu sistem işleyiş olarak belli bir

izleme noktasında duran ekip aracı ile yoldan geçen araçların hız değerlerinin tespit edilmesi ve belirlenen hız limitlerinin üzerinde olması durumunda cezai işlem uygulanması esasına dayanmaktadır. Ancak sistemin dezavantajı noktasal olmasıdır. Sürücüler tarafından radar sisteminin yerinin bilinmesi durumunda, bilinen bölgede hızlar azaltılarak hız ihlali yapma durumu ortadan kaldırılmış olacak ve ceza uygulamasından kaçılmış olunacaktır. Bu sistemle amaçlanan esas olarak sürücülere ceza uygulamak olmamakla beraber belirlenen hız limitlerine uyumu artırarak trafik güvenliğini sağlamak ve aşırı hızla bağlı oluşacak kazaların önlenmesini sağlamaktır. Bu sistem ile karayolu üzerinde süreklilik sağlayacak şekilde denetim oluşturabilmek için çok sayıda tespit noktası ve bu noktalar için gerekli yetkili kişiler, araç vb. kaynaklara ihtiyaç duyulmaktadır.

Trafik güvenliği için yapıla yatırımlar ülkemizdeki araç sahipliği ve nüfus artışının gerisinde kalmasından dolayı trafik polislerinin vakit ve imkânları trafiğin yönetilmesine ve akışına harcanmaktadır (İlgaz ve Saltan, 2017). Yapılan denetimlerde standartlar sağlanamadığından dolayı sürücüler tarafından hız ihlalleri gerçekleştirilmektedir. Mevcut sistem ile ceza uygulamasında eşitlik ve adaletten uzaklaşmakta olup bu sistemde amaç sürücülere ceza uygulamak değil trafik kazalarını ve bunlara bağlı ölümlü ve yaralanmalı kazaları önlemektir (Acar, 2009).

Son yıllarda ülkemiz genelinde yapılan araştırmalarda meydana gelen kazaların %90 oranında sürücülerden kaynaklandığını göstermektedir (İlgaz, 2017). Tablo 1'de 2010-2019 yılları arasında meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarındaki kusur oranları ve Tablo 2'de ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarına etken sürücü bilgileri sunulmaktadır. Tablo 1 ve Tablo 2'de sunulduğu üzere meydana gelen kazaların içinde yüksek hızdan kaynaklananların oranı yaklaşık %40'tır (Cavdar ve ark., 2008).

Tablo 1'de görüldüğü üzere son yıllarda meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarında insan faktörü %99 gibi önemli bir oran teşkil etmektedir. Sürücülerin yüksek kaza oranına neden olan kusur dağılımı Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Yıllar itibariyle meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarındaki kusur oranları 2010-2019 (KGM, 2019)

Yıllar	İNSAN FAKTÖRÜ				Taşıt %	Yol %
	Sürücü %	Yaya %	Yolcu %	Toplam %		
2010	89,72	8,97	0,36	99,05	0,33	0,63
2011	90,20	8,51	0,39	99,10	0,30	0,60
2012	88,86	9,75	0,44	99,05	0,33	0,62
2013	88,97	8,91	0,43	98,31	0,92	0,77
2014	89,12	9,21	0,48	98,81	0,62	0,58
2015	89,76	8,67	0,45	98,88	0,58	0,54
2016	90,02	8,60	0,41	99,03	0,50	0,46
2017	90,29	8,35	0,37	99,01	0,55	0,45
2018	89,64	8,28	1,09	99,01	0,64	0,35
2019	88,89	7,92	0,85	97,65	2,05	0,30

Tablo 2. Ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarına etken sürücü bilgileri (KGM, 2019)

SÜRÜCÜ KUSURLARI	Yerleşim Yeri		Yerleşim Yeri Dışı		TOPLAM	
	Kusur Sayısı	%	Kusur Sayısı	%	Kusur Sayısı	%
Araç hızını yol, hava ve trafiğin gerektirdiği şartlara uydurmak	48 566	35,63	23 166	47,98	71 732	38,86
Kavşak, geçiş önceliğine uymamak	24 287	17,82	2 779	5,76	27066	14,66
Şerit ihlali yapmak	10 023	7,35	7 951	16,47	17 974	9,74
Arkadan çarpmak	11 313	8,30	4 893	10,13	16206	8,78
Doğrultu değiştirme (dönüş) kurallarına uymamak	11 827	8,68	1 568	3,25	13 395	7,26
Manevraları düzenleyen genel şartlara uymamak	7 078	5,19	1 539	3,19	8 617	4,67
Kırmızı ışık veya görevlinin dur işaretine uymamak	4 600	3,37	990	2,05	5 590	3,03
Taşıt giremez trafik işareti bulunan yerlere girmek	4 145	3,04	666	1,38	4811	2,61
Trafik güvenliği ile ilgili diğer kurallara uymamak	3 258	2,39	559	1,16	3 817	2,07
Alkollü olarak araç kullanmak	2 018	1,48	1 098	2,27	3 116	1,69
Yaya ve okul geçitlerinde yavaşlamamak, yayalara geçiş hakkı vermemek	2287	1,68	46	0,10	2 333	1,26
Aşırı hızla araç kullanmak	1090	0,80	887	1,84	1 977	1,07
Geçme yasağı olan yerlerden geçmek	1007	0,74	347	0,72	1 354	0,73
Hatalı şekilde veya yasak olan yerlere park etmek	369	0,27	594	1,23	963	0,52
Kurallara uygun olarak park etmiş araçlara çarpmak	649	0,48	107	0,22	756	0,41
Eksik, bozuk veya uygun olmayan araç donanımıyla araç kullanmak	235	0,17	286	0,59	521	0,28
Yolcu indirme ve bindirme kurallarına uymamak	458	0,34	25	0,05	483	0,26
Bisiklet, M.bisiklet ve Motosikletleri kurallara uymadan sürmek	466	0,34	16	0,03	482	0,26
Tehlikeli veya aşırı şekilde yükleme yapmak	204	0,15	176	0,36	380	0,21
Kaza mahallinde durmamak, gerekli tedbirleri almamak ve yetkililere bildirmemek	155	0,11	61	0,13	216	0,12
Diğer	2.285	1,68	527	1,09	2.812	1,52
<b>TOPLAM</b>	<b>136 320</b>	<b>100</b>	<b>48 281</b>	<b>100</b>	<b>184 601</b>	<b>100</b>

Tablo 2'deki diğer kusurlar göz önüne alındığında birçok kusurun dolaylı sebebi olarak hız ihlallerinin varlığı düşünülebilmektedir. Belirlenen hız limitlerine uymamanın, ölümlü ve yaralanmalı kazaları önlemede yapılacak en önemli davranış olacağı önerilmektedir. Sürüş hızı ne kadar yüksek olursa kazaya karışma riski de o kadar yüksek olmaktadır. Sürücü ortalama hızın altında kalırsa kaza riski de azalmaktadır (Vadeby ve Forsman, 2014). Trafikte meydana gelen kazaların hızın büyüklüğüyle ilgili olduğu düşünülmektedir. Yapılan incelemeler trafik kazalarındaki hızın 2. kuvvetiyle yaralanmalı kaza sayısı, 3. kuvvetiyle ağır yaralanmalı kaza sayısı ve 4. kuvvetiyle ölümlü kaza sayısı arasında orantı olduğunu göstermektedir (Aldoğan, 1991). Ayrıca ölüm oranlarındaki %3'lük artışın ortalama hızdaki 1km/sa'lik artış sonucu oluştuğu görülmektedir (Elvik, 1999). Yüksek hızların kaza ile ilişkisi hızın yükseklik değerinin artmasıyla paralellik izlemektedir. Benzer şekilde yapılan tahminlere göre ortalama hızdaki 5 km/sa'lik azalma yılda Avrupa Birliği'ne üye

ülkelerde 11,000 kişinin ölümden ve 180,000 kişinin yaralanmaktan kurtulabileceğini ön görmektedir (Türkiye Şoförler ve Otomobilciler Federasyonu, 1997). Hız ve kaza riski arasındaki ilişki karmaşık olmasına rağmen kayda değer sayıdaki araştırma sonucu daha düşük hızlardaki araçların daha az kaza meydana getirdiğini ve meydana gelen kazalarda da daha az kaybın yaşandığını göstermektedir (Jones ve ark., 2008).

Bu araştırma kapsamında, Uşak ili sınırları içerisinde yer alan D300 karayolu üzerindeki trafik yoğunluğu yüksek olan on beş adet düğüm noktasındaki son beş yıla ait trafik kaza koordinatları ve türleri belirlenerek kaza istatistikleri oluşturulmuştur. Bölgesel materyallerin ele alındığı bu çalışmada, trafik güvenliği sağlamak ve ölümlü, yaralanmalı, maddi hasarlı kazaları önlemek adına sağlayacağı katkılar ve öneriler sunulmuştur. Uşak ili sınırları içerisinde yer alan D300 karayolu üzerinde meydana gelen aşırı

hıza bağlı kazaların sayısı ile can ve mal kayıplarının oluşması çalışmayı gerekli kılmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Trafik, karayolu üzerindeki yaya ve taşıtların her türlü hal ve hareketi olarak tanımlanmaktadır. Yaya faktörü içerisinde insan ve diğer canlı gruplarını alırken taşıtlar özelliklerine göre farklı kategorilerde sınıflandırılmaktadır. Bu bağlamda trafik içerisinde oluşturulan akışın kusursuza yakın şekilde sağlanması için başlıca etken trafik güvenliğinin azami düzeyde sağlanması olmaktadır. Trafik güvenliğinin sağlanarak ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı kazaların önlenmesi amacıyla birtakım güvenlik tedbirleri geliştirilmektedir.

Ankara-İzmir yolu istikametinde yer alan Uşak ili ülkemizin gelişmişlik ve nüfus yönünden büyük illerinden ikisi olan İzmir'den Ankara'ya gidiş ve dönüş yolu üzerinde olması sebebiyle yüksek trafik yoğunluğuna sahip durumdadır. Ayrıca ülkemizin önemli deniz ticareti ve turizm noktası olan İzmir iline Karadeniz, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Güney Doğu Anadolu ve Akdeniz Bölgesi'nin doğu kesimleri ile trafik bağlantısı sağlamaktadır. Bu bağlantı da Uşak ili içinde yer alan karayolunun kapasitesine yansımaktadır. Şehir içi ve şehirlerarası trafik akışının büyük çoğunluğunun D300 karayolunda meydana gelmesinden dolayı yol üzerinde kazaların olma ihtimali artmaktadır.

D300 karayolu üzerinde trafik güvenliğini sağlayarak ölümlü ve yaralanmalı kaza oranlarının düşürülmesi amacı doğrultusunda seçilecek verilerin güvenli olması adına hassas davranılması gerekmektedir. Karayolunun mevcut durumunda trafik yoğunluğunun yüksek oluşu, araç sahipliğinin artışı ve ilerleyen dönemde trafik akışındaki yoğunluğun daha da artacak olması gibi sebepler neticesinde veri seçiminin önemi de artmaktadır.

Günümüz şartları altında gerçekleşen trafik kazalarında şehir içi trafik akışında önemli paya sahip olan, kullanımı diğer yol ağlarına göre daha fazla olan yol hatlarında emniyet yetkililerinin kazalara müdahale etmesi, kazaların sebep-sonuç ilişkisini sağlıklı değerlendirmesi ve istatistikî veri oluşturması daha nitelikli şekilde yapılmaktadır. Kapsamlı trafik kaza analizlerinin yapılması ve veriye dönüştürülmesi önem arz etmektedir.

Şekil 1'de D300 Karayolu üzerinde yer alan kaza yoğun bölgeler verilmiş olup bölgelerin isimleri sırasıyla şu şekildedir: Uşak Üniversitesi Kavşağı, Hacıkadem Kavşağı, Şehit Yener Sunal Üst Geçidi, Dikilitaş Kavşağı, 15 Temmuz Mehmet Çetin Köprüsü Kavşağı Öncesi 1. Bölge, 15 Temmuz Mehmet Çetin Köprüsü Kavşağı Öncesi 2. Bölge, 15 Temmuz Mehmet Çetin Köprüsü Kavşağı, Osmanlı Köprüsü Kavşağı Öncesi Bölüm, Osmanlı Köprüsü Kavşağı, Dört Yol Kavşağı, Belediye Cami Kavşağı, Selçuklu Köprüsü Kavşağı, 1 Eylül Sanayi Kavşağı, Uşak Eğitim Araştırma Kavşağı, Hava Limanı Kavşağı.



Şekil 1. D300 Karayolu üzerinde yer alan kaza yoğunluklu bölgeler

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Trafik durumu ile ilgili genel olarak bilgi aktarılan Uşak ili D300 karayolu için bu bölümde, Uşak Emniyet Müdürlüğü Trafik Tescil Ve Denetleme Şube Müdürlüğü'nden elde edilen verilerin çeşitliliğine göre kaza koordinatları ele alınmıştır. Yapılacak olan veri analizleri sonucunda aşırı hıza bağlı trafik kazaların

önlenmesi, trafik güvenliğinin sağlanması, can ve mal kayıplarının önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

Elde edilen veriler doğrultusunda Uşak ilinde D300 karayolunda meydana gelen kazaların genel verileri incelendiğinde kaza sayılarından önce il genelinde araç sahipliği durumunun yüksek oluşu göze çarpmaktadır. Türkiye geneli araç sahipliği durumu ve Uşak geneli araç sahipliği durumu aşağıdaki Tablo 3'te sunulmaktadır.



Tablo 3. Uşak ve Türkiye geneli araç sahipliği (Trafik Tescil ve Denetleme Şube Müdürlüğü, 2020)

Uşak İl Merkezi Nüfus Araç Oranı		Türkiye Geneli Nüfus Araç Oranı	
Nüfus	Araç	Nüfus	Araç
256669	105249	83154997	24418987
2,44 kişiye bir araç düşmektedir		3,41 kişiye bir araç düşmektedir	

Tablo 3'teki veriler irdelendiğinde Türkiye genelindeki kişiye düşen araç sayısına göre Uşak ilinde kişiye düşen araç sayısı daha düşüktür. Bu durum Uşak ili için Türkiye ortalamasının üstünde araç sahipliği olduğunu dolayısıyla trafik yoğunluğunun da fazla olduğunu göstermektedir.

Elde edilen diğer veriler arasında son 5 yıl içinde il genelinde meydana gelen trafik kazalarının listesi bulunmaktadır. Liste içerisinde yer alan sayılara göre son 5 yılda 5463 trafik kazası meydana gelmekle beraber bu kazaların içerisinde 66 tanesi ölümlü sonuçlanmıştır. Gerçekleşen 66 ölümlü kazada toplam 75 vatandaşımız can kaybı yaşamıştır. Yine bu 5463 kazanın 5397 adedi de yaralanmalı kaza grubuna girmektedir. Gerçekleşen 5397 yaralanmalı kazada 9100 vatandaşımız yaralanmıştır.

Ölüm ve yaralanma sayıları ele alınarak hesaplama yapıldığında yıllık bazda ortalama 1093 kaza meydana gelirken 1820 vatandaşımız yaralanmakta ve 15 vatandaşımız hayatını kaybetmektedir.

Listelenen veriler arasında D300 karayolu için verilerin daraltılması sonucu ortaya çıkan alt veri grubu için gerçekleşen 66 ölümlü kazanın 43 adedinin ve 75 can kaybının 51 adedinin D300 karayolu üzerinde meydana geldiği görülmektedir. Tablo 4'te veriler arası ilişkiler sunulmaktadır.

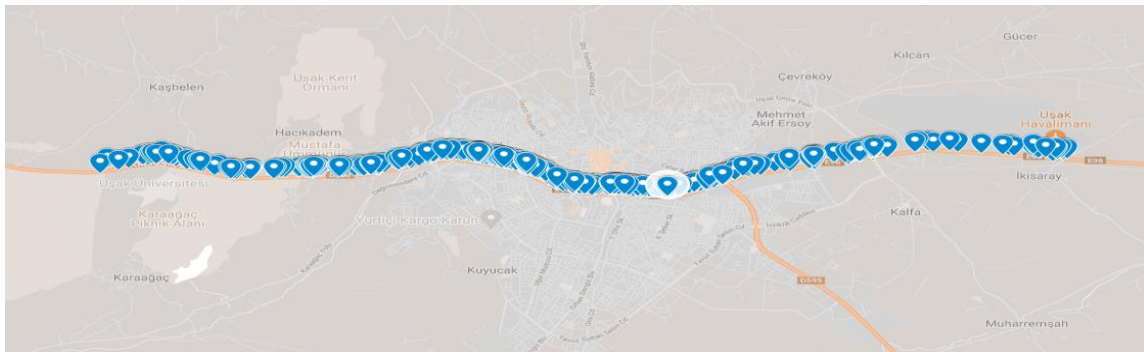
Tablodaki veriler incelendiğinde D300 karayolu üzerinde meydana gelen kazaların, tüm kazaların %26,6'sını oluşturmasına rağmen ölümlü kaza sayısında %65,2 ve ölüm sayısında %68 gibi oldukça yüksek yüzdelerle oranlara sahip olduğu görülmektedir. D300 karayolu üzerinde gerçekleşen yaralanmalı kaza sayısı ve yaralanma sayısı toplam kaza yüzdesine benzer oranlar göstermektedir.

Tablo 4. Son beş yıla ait Uşak ili kaza istatistikleri (Trafik Tescil ve Denetleme Şube Müdürlüğü, 2020)

	Toplam kaza	Ölümlü kaza sayısı	Ölüm sayısı	Yaralanmalı kaza	Yaralanma sayısı
İl geneli	5 463	66	75	5 397	9 100
D300	1 453	43	51	1 410	3 114
İl geneli/D300	%26,6	%65,2	%68	%26,1	%34,2

Uşak ili kaza raporlarının genel listesi içerisinde daraltılarak elde edilen D300 karayoluna ait kazaların, Uşak Emniyet Müdürlüğü Trafik Tescil ve Denetleme Şube Müdürlüğü'nce paylaşılan koordinatları dikkate alınarak yerel karayolu ağı üzerine yerleştirilmektedir. Hazırlanan karayolu ağı üzeri kaza koordinatları görselinin kazaların yoğunlaşma noktalarının

tespitine karar vermede katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu doğrultuda oluşturulan Şekil 2'de genel kaza koordinatları göstermektedir.

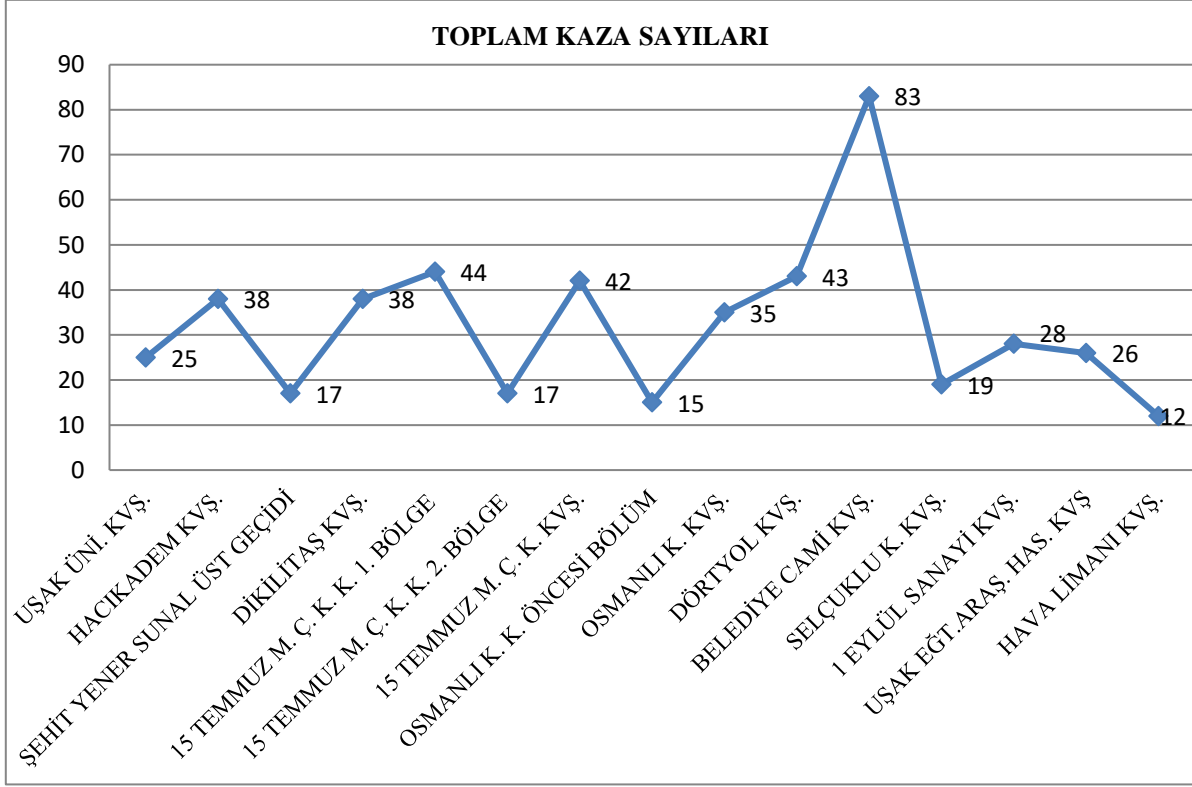


Şekil 2. D300 Karayolu Genel Kaza Koordinatları



D300 karayolu üzerindeki genel kaza koordinatları gösterilmiş olup bölgesel olarak trafik kazalarının yoğunlaştığı yerler ayrıntı olarak ele alınmaktadır. Trafik kaza bölgelerinin incelenmesine, Uşak Üniversite yol ayrımı bölgesinden başlanarak Batı-Doğu doğrultusunda ilerlenip D300 yolu için kazaların yoğunlaştığı son nokta olarak Uşak Havalimanı

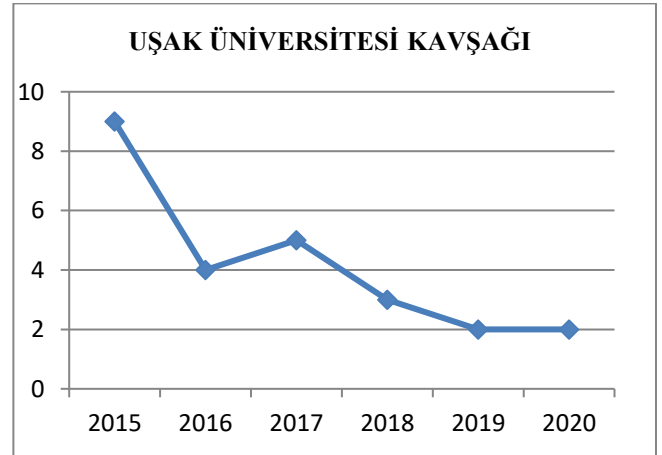
bölgesinde son verilmesi planlanmaktadır. Bölgesel olarak yerleştirilen koordinatlar üzerinden sayımlar toplam kaza sayıları grafiği Şekil 3'te gösterilmektedir ve düğüm noktalarının isimlendirme aşamasında bölgedeki çevresel yapılar ve resmi kayıtlardaki isimler dikkate alınmaktadır.



Şekil 3. D300 karayolu koordinatlara göre toplam kaza sayıları

Şekil 3'te yer alan kaza sayıları değerlerine bakılarak 35-45 aralığındaki değerler üst bölüm, 20-30 aralığındaki değerler orta bölüm, 0-20 aralığındaki değerler alt bölüm olarak ele alınmaktadır. Üst bölüm içerisinde yer alan bölgelerde kaza sayılarının yüksek olmasının sebepleri arasında kontrolsüz yaya geçişi olması, yüksek yoğunlukta trafiğe sahip yan bağlantı yollarının bulunması, alt-üst geçitlerden transit geçişten dolayı hızın yüksek olması gibi sebepler sayılabilmektedir. Bu sebeplerden bazıları yol geometrisine bağlı olmakla beraber diğerleri de hız faktörüyle ilişkilendirilmektedir.

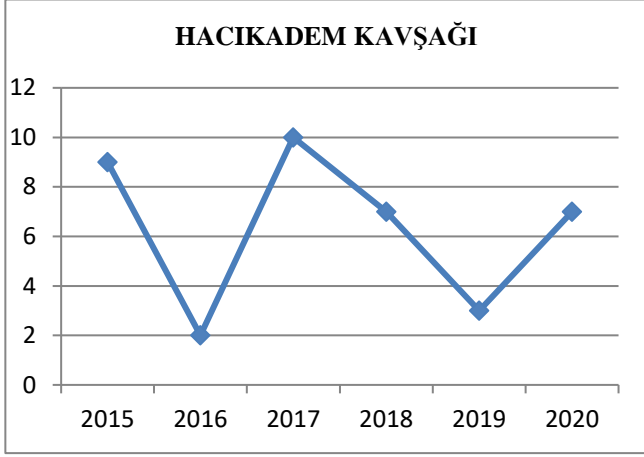
D300 karayolu üzerinde meydana gelen trafik kazası verilerine göre yoğunlaşma olan bölgeler için ilk olarak üniversiteye ayrılan yol bölgesi ele alınmaktadır. Üniversite bölgesine ait 2015-2020 yılları arasında meydana gelen kazaların grafiği Şekil 4'te verilmektedir. Seçilen bölgede üniversite için iki yönden de sağdan ayrılış şeklinde yol bağlantısı olmakla beraber kazaların çoğunluğu ana yol üzerinde meydana gelmektedir. Karşıdan karşıya geçişler için oluşturulmuş çift şeritli araç üst geçidi bölgede geçişi sağlamaktadır. Şehir merkezine yaklaşık 10 km uzaklıkta bulunan üniversite yol ayrım bölgesi öncesinde herhangi bir ışıklı trafik sistemi bulunmamakta iken sonrasındaki ilk ışıklı trafik sistemi yaklaşık 2,1 km uzaklıktaki Hacıkadem kavşağı bölgesinde bulunmaktadır.



Şekil 4. Uşak Üniversitesi kavşağı bölgesi meydana gelen kazalar

Şekil 4'te görüldüğü üzere bölgede meydana gelen trafik kazalarının azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Toplam kaza sayıları grafiğinde orta bölümde yer almaktadır. Kazaların düşüş göstermesinde yol geometrisinde ve bağlantılarında yapılan iyileştirmeler rol oynamaktadır.

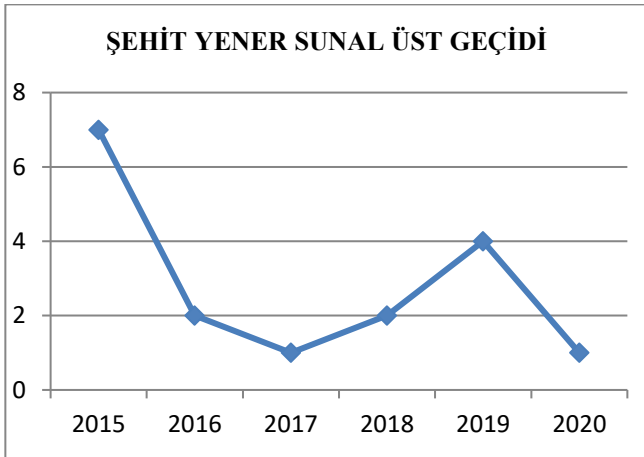
Hacıkadem kavşağı bölgesi için gerçekleşen kazalar Şekil 5'te gösterilmektedir. Seçilen bölge şehir merkezine 4 km uzaklıkta bulunmaktadır. D300 karayolu üzerindeki kavşak bölgesi, merkeze bağlı Hacıkadem Mahallesi'ne ait iki adet bağlantı yolu içermektedir. Seçilen bölge öncesinde ışıklı trafik sistemi bulunmamakla beraber sonrasındaki ışıklı trafik sistemi şehrin girişinde 2,5 km uzaklıktaki Dikilitaş kavşağı mevkinde yer almaktadır.



Şekil 5. Hacıkadem kavşağı bölgesi meydana gelen kazalar

Diğer bölgelerle karşılaştırıldığında kaza yoğunluğunun daha yüksek olduğu görülmektedir. Toplam kaza sayıları grafiğinde üst bölüm içerisinde yer almaktadır. D300 karayolunun il merkezinde yer alan kısmında ışıklı trafik sisteminin olduğu ilk bölgedir. Kavşak bölgesi yolun iki tarafı içinde tepe noktasında yer aldığından ışık sisteminin varlığı sürücüler tarafında fark edilememektedir. Kavşak öncesinde ve sonrasında ışıklı sistemlerin olmaması veya uzak olması, uyarı işaretleri olmasına rağmen kaza sayılarının yüksek olmasına neden olmaktadır.

Bir diğer trafik kazası yoğunlaşan bölge olarak Şehit Yener Sunal Üst Geçidi'nin yer aldığı bölge ele alınmaktadır. Şehit Yener Sunal Üst Geçidi bölgesi için gerçekleşen kazalar Şekil 6'da gösterilmektedir. Seçilen bölge şehir yerleşim yerleri başlangıç kısmında yer almaktadır. Öncesinde ışıklı trafik sistemi 1 km uzaklıktaki Hacıkadem kavşağı bölgesinde yer alırken sonrasındaki ilk ışıklı trafik sistemi 1,5 km uzaklıktaki Dikilitaş kavşağı mevkinde yer almaktadır.

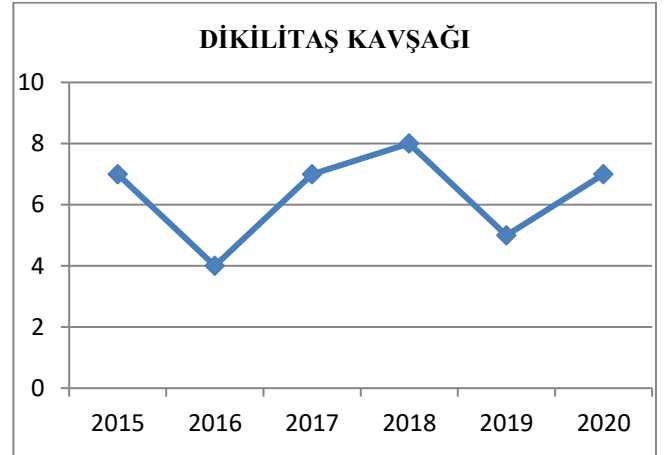


Şekil 6. Şehit Yener Sunal Üst Geçidi bölgesi meydana gelen kazalar

Bölgede yayaların karşıdan karşıya geçmesinden kaynaklanan trafik kazaları fazlaca meydana gelmekteyken inşa edilen yaya üst geçidi ve karşıdan karşıya yol üstünden geçişin engellenmesiyle kazalar önemli ölçüde engellenmektedir. Toplam kaza sayıları grafiğinde alt bölüm içerisinde yer almaktadır.

Şekil 7'de Dikilitaş kavşağı bölgesi meydana gelen kazaların yıllar içindeki durumu sunulmaktadır. Işıklı trafik sisteminin yer aldığı bölge toplam kaza sayıları grafiğinde üst bölüm içerisinde yer almaktadır. Bahsedilen ilk üç bölgeye göre daha fazla yerleşim yeri içinde yer alan bir bölgedir. Öncesindeki ışıklı trafik sistemi yaklaşık 2,5 km uzaklıktaki Hacıkadem kavşağı bölgesinde yer alırken sonrasında 800 m uzaklıkta 15 Temmuz Mehmet Çetin Köprülü Kavşağı ışıklı trafik sistemi bulunmaktadır.

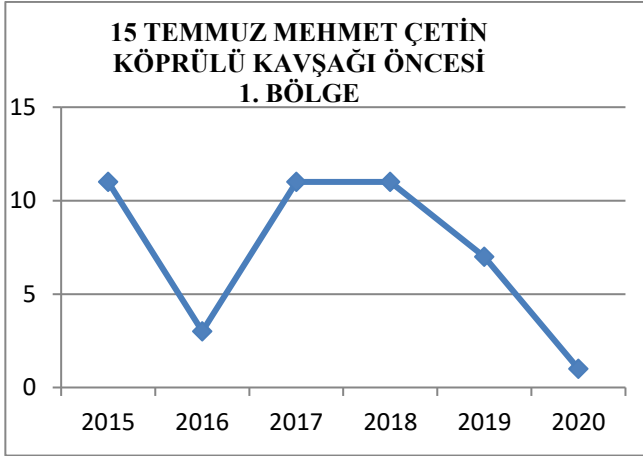
Ayrıca Dikilitaş kavşağı mevkinde yer alan ışıktan 400 m ileride battı-çıkıtı girişi başlamaktadır. Dikilitaş kavşağı mevkinde sonra Batı istikametine doğru hem direkt seyahate izin veren battı-çıkıtı hem de ışıklı kavşak sistemi bulunmaktadır. Bölgeye mahalle içerisinde önemli trafik yoğunluğuna sahip Barbaros Caddesi, Kuzey-Doğu istikametinden bağlanmaktadır.



Şekil 7. Dikilitaş kavşağı bölgesi meydana gelen kazalar

Bölgenin kaza sayılarında üst bölgede yer almasında yan bağlantı yollarının olmasıyla birlikte ışıklı kavşağa iki taraftan da yüksek hızla gelişler etkili olmaktadır. Geliş yönünden ışık sisteminin uzak olması ve gidiş yönünde battı-çıkıtı yapısının mevcut olması araç hızlarının üst değerlerde olmasına sebep olmaktadır.

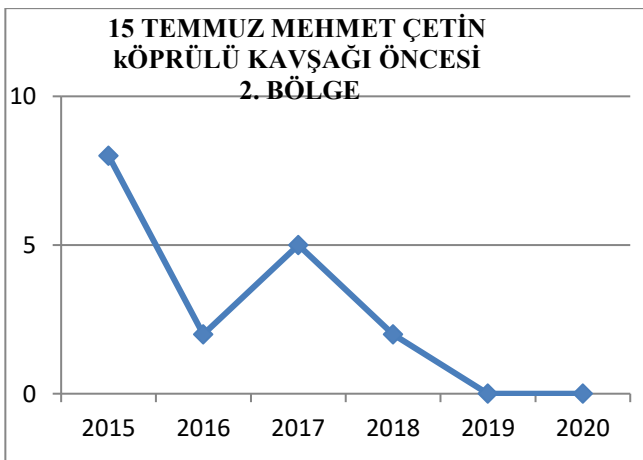
Şekil 8'de 15 Temmuz Mehmet Çetin Köprülü Kavşağı Öncesi 1. bölgede gerçekleşen kazalar gösterilmektedir. Bölgede öncesinde 300 m uzaklıkta Dikilitaş kavşağı ışıklı trafik sistemi yer alırken sonrasında ise 350 uzaklıkta 15 Temmuz Mehmet Çetin Köprülü Kavşağı ışıklı kavşak bölgesi yer almaktadır. Toplam kaza sayıları grafiğinde üst bölümde yer alan bölgelerdendir.



Şekil 8. 15 Temmuz Mehmet Çetin KöprülÜ Kavşakđ Öncesi 1. bölge meydana gelen kazalar

15 Temmuz Mehmet Çetin KöprülÜ Kavşakđ Öncesi 1. bölgede meydana gelen kazalar sunulmakla beraber bölgenin devamında yer alan 15 Temmuz Mehmet Çetin KöprülÜ Kavşakđ bölgesine inşaa edilen battı-çıkıtı yapısından dolayı kaza değerleri düşüş göstermiştir. Başlangıçta kaza sayılarının yüksek olmasında hastane bölgesi olması, yol üzerinden kontrolsüz yaya geçişi olması, yolun iki tarafından da yola katılım sağlayan yan yolların olması gibi sebepler etkili olmuştur. Yaya üst geçidi inşaa edilmesi ve karşıdan karşıya yaya geçişini önleyici çit çekilmesi gibi uygulamalar kaza sayılarının azalmasında için alınan önlemlerdir. Otogar bölgesine inşaa edilen battı-çıkıtı yapısının başlangıç kısmı bu bölgenin içerisinde yer almaktadır.

15 Temmuz Mehmet Çetin KöprülÜ Kavşakđ Öncesi 1. bölgenin devamı niteliğinde olan kaza bölgesidir. Öncesinde Dikilitaş kavşakđ ışıklı kavşak bölgesi yer alırken sonrasında 15 Temmuz Mehmet Çetin KöprülÜ Kavşakđ ışıklı kavşak bölgesi yer almaktadır. Şekil 9'da 15 Temmuz Mehmet Çetin KöprülÜ Kavşakđ Öncesi 2. bölge gerçekleşen kazalar gösterilmekte olup toplam kaza sayıları grafiğinde alt bölüm içerisinde yer almaktadır.

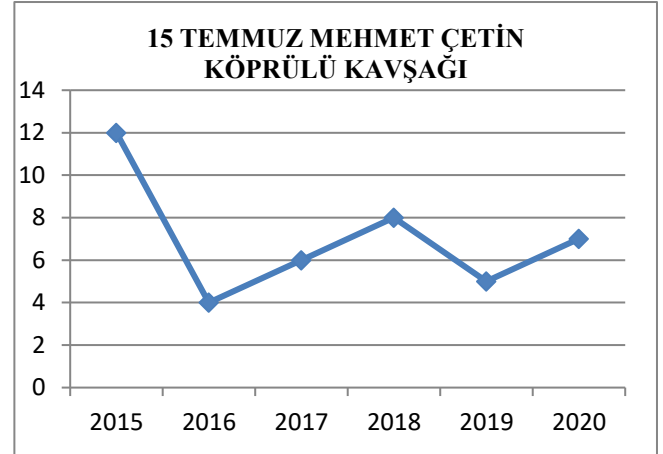


Şekil 9. 15 Temmuz Mehmet Çetin KöprülÜ Kavşakđ Öncesi 2. bölge meydana gelen kazalar

İlk yıllarda kazaların yüksek olmasında anayolun iki tarafında yer alan katılım yollarının etkisinden bahsedilebilir. 1.

Bölgeye benzer şekilde yaya üst geçidi inşaa edilmesi ve yaya geçişinin kontrol altına alınmasıyla kazalarda düşüşler sağlanmıştır.

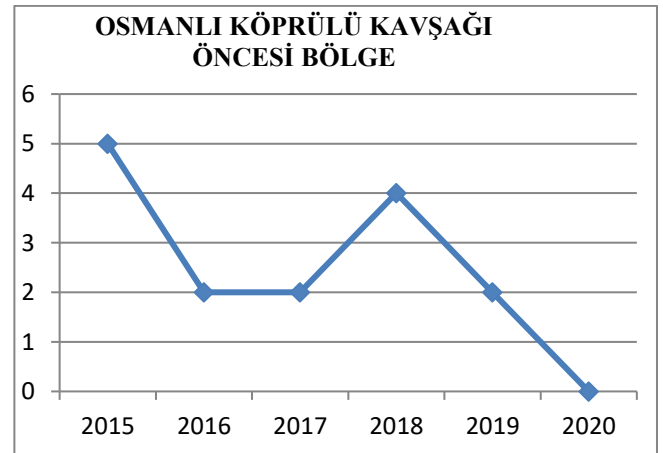
15 Temmuz Mehmet Çetin KöprülÜ Kavşakđ bölgesi gerçekleşen kazalar Şekil 10'da gösterilmektedir. Bölgede ışıklı kavşak sistemi bulunmaktadır. Öncesinde yer alan ışıklı kavşak sistemi 650 m uzaklıktaki Dikilitaş kavşakđ bölgesinde bulunurken sonrasında ışıklı kavşak sistemi 720 m uzaklıktaki Osmanlı KöprülÜ kavşakđ bölgesinde yer almaktadır.



Şekil 10. 15 Temmuz Mehmet Çetin KöprülÜ Kavşakđ bölgesi meydana gelen kazalar

Bölgede yapılan çalışma ile transit geçişi sağlayan battı-çıkıtı yapısı inşaa edilmiştir. Şehirlerarası otobüs terminalinden çıkan araçların D300 yoluna bağlantısı bu kavşak vasıtası ile yapılmaktadır. Ayrıca kuzey ve güney doğrultusunda yüksek trafik hacmine sahip yollarda bu kavşak noktasına bağlanmaktadır. Kavşaktaki bağlantı yollarının yüksek trafik hacmine sahip olması, sonrasında battı-çıkıtı yapısında dolayı yüksek hızlara sahip araçların gelmesi gibi etkenler kaza sayılarının yüksek olmasına neden olmaktadır.

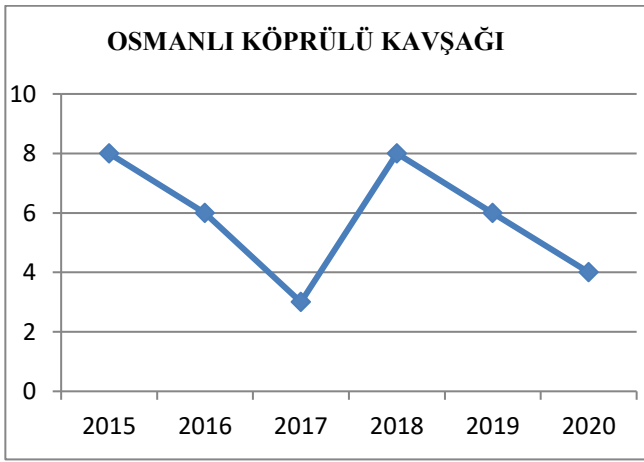
Kaza yoğunluğu olarak göze çarpan diğer bir nokta olan Osmanlı KöprülÜ Kavşakđ öncesi bölgeye ait gerçekleşen kazalar Şekil 11'de gösterilmektedir. İki battı-çıkıtı bölgesi arasında yer alan bölümün 15 Temmuz Mehmet Çetin KöprülÜ Kavşakđ battı-çıkıtı girişine uzaklığı 350 m iken Osmanlı KöprülÜ Kavşakđ battı-çıkıtı girişine uzaklığı 200 m civarındadır.



Şekil 11. Osmanlı Köprülü Kavşağı öncesi bölge meydana gelen kazalar

Bölge kazalara sebep olabilecek yan katılım yolları içermektedir. Bölge toplam kaza sayıları grafiğinde alt bölüm içerisinde yer almaktadır. Kazaların meydana gelmesinde yan katılım yollarından yapılan kontrolsüz giriş ve çıkışlar etkili olmaktadır.

Osmanlı Köprülü Kavşağı bölgesi gerçekleşen kazalar Şekil 12’de gösterilmektedir. Osmanlı Köprülü Kavşağı bölgesi öncesi ışıklı kavşak sistemi 720 m uzaklıktaki 15 Temmuz Mehmet Çetin Köprülü Kavşağı bölgesinde bulunurken sonrası ışıklı kavşak sistemi 550 m uzaklıktaki Dört Yol kavşağı bölgesinde bulunmaktadır. Kuzey-Güney doğrultusunda şehrin önemli trafik yoğunluğuna sahip yolları bu bölgeye bağlanmaktadır. Bölge öncesinde 570 m uzaklıkta battı-çıkıtı girişi ve sonrasında 450 m uzaklıkta Dört Yol kavşağı üst geçit köprüsü yer almaktadır.

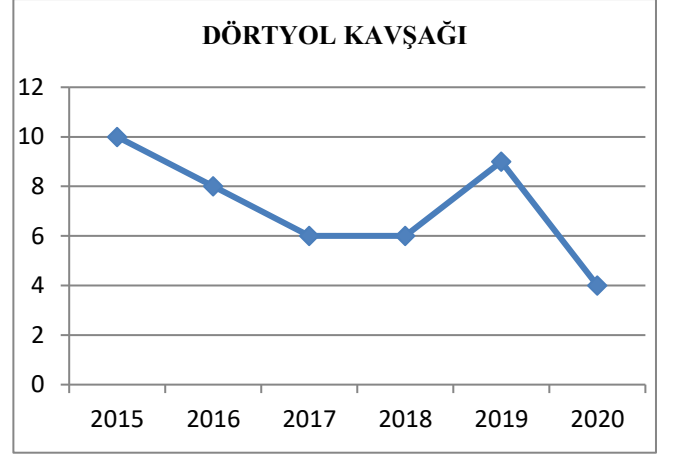


Şekil 12. Osmanlı Köprülü Kavşağı bölgesi meydana gelen kazalar

Toplam kaza sayıları grafiğinde üst bölümde yer alan bölgelerdendir. Ayrıca bölgede transit geçişe imkan veren battı-çıkıtı yapısı inşa edilmiş vaziyettedir. Kaza sayılarının fazla olmasında trafik yoğunluğu fazla olan yolların olması etkilidir. Battı-çıkıtı ve üst geçit yapılarından transit geçiş yapan araçların yüksek hızlarda olması da kazaya neden olan sebeplerdendir.

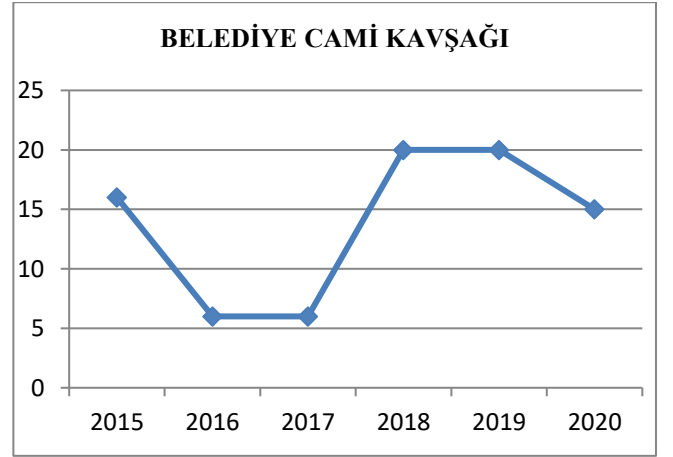
Şekil 13’de Dört Yol kavşağı bölgesi gerçekleşen kazalar gösterilmektedir. Bölge öncesi ışıklı kavşak sistemi 550 m uzaklıktaki Osmanlı Köprülü Kavşağı bölgesinde yer alırken sonrasındaki ışıklı kavşak sistemi 800 m uzaklıktaki Belediye Cami kavşağı bölgesinde yer almaktadır. Bölgede transit geçiş sağlayan araç üst geçit yapısı bulunmaktadır.

Uşak il merkezi kabul edilen Hükümet Konağı önü ile ana cadde kabul edilen İsmet Paşa Caddesi’ne giden yol ve Eşme, Ulubey ilçelerine giden bu bölgede karayoluna bağlanmaktadır. Battı-çıkıtı girişine uzaklığı tek taraftan 450 m uzunluktadır. Toplam kaza grafiğinde üst bölüm içinde yer alan bölgelerden biri de Dört Yol kavşağı bölgesidir. Bir önceki bölgeye benzer şekilde battı-çıkıtı yapısından transit geçiş yapan araçların yüksek hızlarda olması ve yüksek yoğunlukta trafik akışlarına sahip bağlantı yollarının olması kaza sayılarını arttıran faktörlerdir.



Şekil 13. Dört Yol kavşağı bölgesi meydana gelen kazalar

Şekil 14’te Belediye Cami kavşağı bölgesi gerçekleşen kazalar gösterilmektedir. Işıklı trafik sistemi olarak bakıldığında 800 m öncesinde Dört Yol kavşağı bölgesi ve 900 m sonrasında Selçuklu Köprülü kavşağı bölgesi yer almaktadır. Kuzey ve Güney doğrultusundan yoğun trafiğe sahip yan yollar bağlanmaktadır. Üst geçit başlangıcı 650 m öncesinde yer alırken 800 m sonrasında battı-çıkıtı girişi bulunmaktadır.

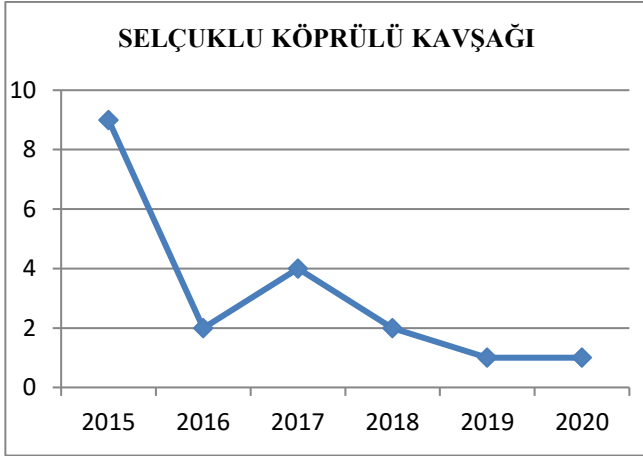


Şekil 14. Belediye Cami kavşağı bölgesi meydana gelen kazalar

İncelenen veriler doğrultusunda en fazla kazanın meydana geldiği bölümdür. Toplam kaza sayıları grafiğinde zirve değere sahiptir. Bölgede kaza sayılarının yüksek olmasında öncesinde ve sonrasında ışıklı trafik sistemlerinin uzak olması ve bölgenin öncesinde ve sonrasında transit geçiş sunan üst geçit ve battı-çıkıtı yapılarının olması önemli rol oynamaktadır.

Şekil 15’te Selçuklu Köprülü Kavşağı bölgesi gerçekleşen kazalar gösterilmektedir. Karayolunun Güney doğrultusundan Sivasslı (Uşak ilçesi)-Çivril (Denizli ilçesi)-Denizli yolu olarak bilinen yol ana yola bağlanmaktadır. Öncesinde 900 m uzaklıkta Belediye Cami kavşağı ışıklı kavşak sistemi yer alırken sonrasında 1300 m uzaklıkta 1 Eylül Sanayi kavşağı ışıklı kavşak sistemi yer almaktadır. Bölgede inşa edilmiş battı-çıkıtı yapısı bulunmaktadır.

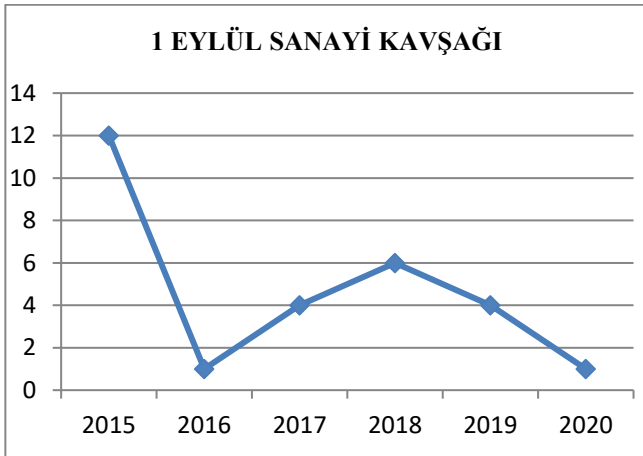




Şekil 15. Selçuklu Köprülü Kavşağı bölgesi meydana gelen kazalar

Toplam kaza sayıları grafiğinde alt bölümde yer alan bölge, inşa edilen battı-çıkıtı sonrası kaza sayılarında düşüş göstermiştir. Şekil 15'te gösterilen Selçuklu Köprülü Kavşağı bölgesi meydana gelen kazalar grafiği son yıllarda oldukça azalmıştır.

1 Eylül Sanayi kavşağı bölgesi gerçekleşen kazalar Şekil 16'da gösterilmektedir. Öncesinde 1000 m uzaklıkta battı-çıkıtı girişi yer almaktadır. Işıklı trafik sistemlerine uzaklıkları, 1300 m öncesinde Selçuklu Köprülü Kavşağı bölgesine ve 850 m sonrasında Uşak Eğitim ve Araştırma Hastanesi kavşağı bölgesi olarak ölçülmektedir. Bölgeye Kuzey tarafından alışveriş bölgesi ulaşım yolu bağlanırken Güney tarafından oto sanayiye ulaşım yolu bağlanmaktadır.

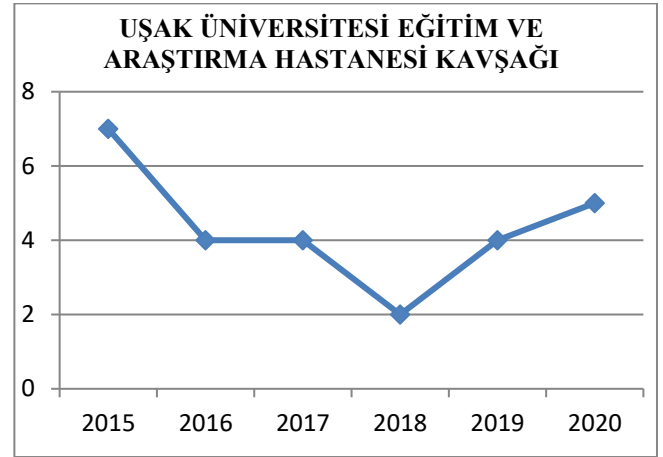


Şekil 16. 1 Eylül Sanayi kavşağı bölgesi meydana gelen kazalar

Toplam kaza sayıları grafiğinde orta bölümde yer alan ikinci bölgedir. Kazaların oluşmasında, öncesinde ve sonrasında yer alan ışıklı sistemlerin uzak olması dolayısıyla bu bölgeye gelen araçların yüksek hız değerlerine ulaşabilmeleri sonucu ışıkta duramama problemi etkili olmaktadır.

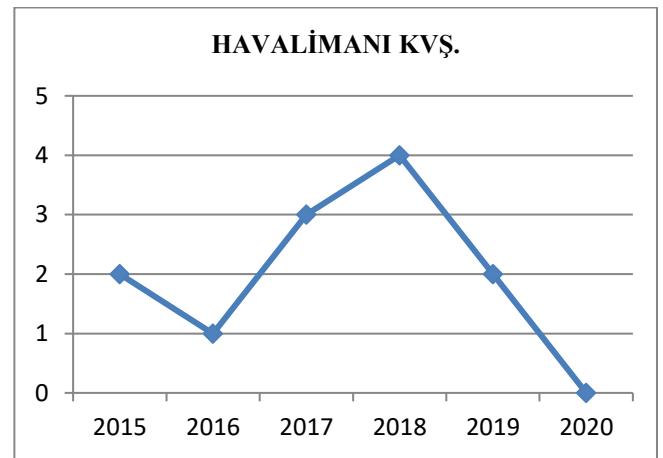
Uşak Eğitim ve Araştırma hastanesi kavşağı bölgesi gerçekleşen kazalar Şekil 17'de gösterilmektedir. Bölgede yer alan kavşak eğitim araştırma hastanesi, emniyet müdürlüğü, adliye ve 2 adet okul olmak üzere kamu kurumlarına ulaşım sağlayan önemli bir geçiş noktasıdır. Hastane bölgesinin öncesinde 850 m uzaklıkta 1 Eylül Sanayi kavşağı bölgesi ışıklı

kavşak sistemi bulunurken sonrasında ışıklı trafik sistemi bulunmamaktadır. D300 karayolunun il içerisindeki kısmında son ışıklı trafik sistemi burada bulunmaktadır. Toplam kaza sayıları grafiğinde orta bölümde yer alan bölgeler arasındadır. Bölge sonrasında ışık sistemi olmayışından ve bölge öncesinde uzak mesafede ışık sistemi olmasından dolayı yüksek hızlarda araçların gelmesi kazalara sebep olan temel durumdur. Kamu kurumlarının varlığından dolayı kavşağın trafik yoğunluğu oldukça fazladır. Yoğunluğun verdiği trafik sıkışıklıkları sürücüler tarafından trafik güvenliğini tehlikeye atacak davranış sergilenmesine ve kazaların meydana gelmesine ortam hazırlamaktadır.



Şekil 17. Uşak Üniversitesi Eğitim ve Araştırma hastanesi kavşağı bölgesi meydana gelen kazalar

Şekil 18'de Havalimanı kavşağı bölgesi gerçekleşen kazalar gösterilmektedir. Bölge öncesinde 2,7 km uzaklıkta Uşak Eğitim ve Araştırma hastanesi bölgesi ışıklı kavşak sistemi yer almaktadır. Havalimanı kavşağı bölgesinde ışıklı trafik işareti olmayan kavşak olmakla birlikte sonrasında da ışıklı trafik sistemi bulunmamaktadır. Kuzey ve Güney doğrultudan merkeze bağlı İkisaray Mahallesi ve Bozkuş Köyü'ne bağlantı yolları birleşmektedir.



Şekil 18. Havalimanı kavşağı bölgesi meydana gelen kazalar

D300 karayolu için talep veriler doğrultusunda ele alınan son bölgedir. Toplam kaza sayıları grafiğinde alt bölümde yer alan son bölgedir. Işıklı trafik sistemi olmayışından dolayı ana yola yapılan

kontROLSÜZ GEÇİŞLER VE BÖLGEYE GELEN ARAÇLARIN YÜKSEK HIZ DEĞERLERİNE SAHİP OLMASI KAZALARA SEBEP OLMAKTADIR.

#### 4. Sonuç

Günden güne artan araç sayısı beraberinde trafik kazalarında da artışlar görülmesine neden olmaktadır. İnsan faktörünün kazaların temel nedeni olmasının yanı sıra sürücü kusurlarının da temelinde aşırı hız etkeni bulunmaktadır. Trafik güvenliğinin sağlanamaması durumunda oluşan trafik kazaları sonucunda ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı kazalar meydana gelmekle birlikte kaza sonrası kazaya karışanlar üzerinde psikolojik yönden olumsuz ruh halleri de ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada Uşak İli içerisindeki D300 karayolu üzerindeki bir kesitte meydana gelen kazalar, 15 ayrı noktada incelenmiştir. İncelemeler neticesinde Hacıkadem Kavşağı, Dikilitaş Kavşağı, 15 Temmuz Mehmet Çetin Köprülü Kavşağı ve öncesi 1. Bölüm, Dört Yol Kavşağı ve Belediye Cami Kavşağında kaza sayılarının diğer bölgelere göre daha fazla olduğu saptanmıştır. Genel kaza sebepleri olarak yüksek hız, yan bağlantı yolları, kontROLSÜZ yaya geçişi ve yol geometrisi gibi etkenler öne çıkmaktadır.

Kaza bölgelerinde kazaları gidermek amacıyla yeni yapı imalatları(battı-çıkıtı uygulaması), üst geçit uygulamaları, yaya geçişini kontrol altına alma amacıyla orta kaldırma set çekme uygulamaları, yol geometrisi düzenleme gibi uygulamalar geliştirildiği görülmüştür.

Kaza sayısı yüksek olan Hacıkadem Kavşağı, Dikilitaş Kavşağı, 15 Temmuz Mehmet Çetin Köprülü Kavşağı ve öncesi 1. Bölüm, Dört Yol Kavşağı ve Belediye Cami Kavşağı bölgeleri için alınan önlemlerin etkinliğini arttırmak, ölümlü-yaralanmalı-maddi hasarlı kazaları önlemek, trafik güvenliğini arttırmak adına eksikliklerin tespit edilerek bu eksikliklere uygun çalışmalar yapılmalıdır. Trafik güvenliği yönünden riskli olan noktalar için trafik güvenliğini arttırmak adına hız sınırlandırma, alt geçit, üst geçit, yol geometrisinde iyileştirme gibi ilave uygulamalar ele alınmalıdır. Mevcut uygulamaların düşünüldüğünde bu uygulamaların etkinliğini arttırmak adına en etkili yöntem olarak hız sınırlandırma ön plana çıkmaktadır. D300 karayolunun trafik yoğunluğunun yüksek oluşu, kasis ve trafik ışığı gibi hız sınırlama yöntemlerinin tercih edilmesini uygunsuz kılmaktadır. Dolayısıyla son yıllarda kullanımı yaygınlaşan ortalama hız koridoru uygulaması tercih edilmelidir. Bu sayede trafik güvenliğinde artış sağlanmış olup alınan tedbirlerin etkinliği artarak ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı kazaların önlenmesi sağlanmış olacaktır.

#### 5. Teşekkür

Uşak Belediyesi ve Uşak Emniyet Müdürlüğü, Trafik Tescil Ve Denetleme Şube Müdürlüğü'ne vermiş oldukları destek ve katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

#### Kaynakça

Acar, N. (2009). Aşırı Hızın Trafik Kazalarına Etkisi. Erişim Tarihi: 23.05.2021. <http://www.cagipolisi.com.tr>  
Aldoğan, A. (1991). *Trafik Kaza İstatistiklerinin Değerlendirilmesi ve Kazaların Azaltılmasında Bakanlığımızca Hazırlanan Yeni Uygulamalar ve Alınması*

*Gerekli Kısa ve Uzun Vadeli Teklif ve Öneriler*. Trafik Şurası, Ankara.  
Aydın, M.M. (2017). *Şehir İçi Kavşaklardaki Geometrik Disiplinsizliğin Optimize Edilerek İrdelenmesi*. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.  
Cavdar, A., Uçar M. & Kılıçaslan I. (2008). Trafik Kazalarına Sebep Olan Yüksek Hız Kusurlarının Denetimi ve Aktif Güvenlik Sistemler ile Kontrolü. *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der.* 23(1), 187-198.  
Civciik, L. & Koçak, S. (2020). Travel Time Prediction with Bluetooth Sensor Data in Intelligent Traffic System (ITS). *EJOSAT-European Journal of Science and Technology*, (Special Issue), 522-529.  
Elvik, R. (1999). *Cost-Benefit Analysis of Safety Measures for Vulnerable and Inexperienced Road Users*. Institute of Transport Economics, TQI Report 435/1999, Oslo.  
Güneş, F., Bayraklı, S. & Zaim, A.H. (2020). Sinyalize Bir Kavşakta Oluşan Trafik Akımının Kuyruk Teorisi ile Performansının İncelenmesi. *EJOSAT-Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 56-65.  
Goldenfeld, C. & Van Schagen, I. (2005). The Effects Of Speed Enforcement With Mobile Radar On Speed And Accidents: An Evaluation Study On Rural Roads In The Dutch Province Friesland. *Accident Analysis & Prevention*, 37(6), 1135-1144.  
İlgaz, A. & Saltan, M. (2017). A Case Study on Speed Behavior Determination Via Average Speed Enforcement at The Akdeniz University Campus Area. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9 (3), 22-35.  
İlgaz, A. (2017). *Ortalama Hız Sınırı Uygulamasının Sürücülerin Hız Profilleri Üzerindeki Etkilerinin Analizi: Akdeniz Üniversitesi Kampüsü Örneği*. Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.  
Jones A. P., Sauerzapf V. & Haynes R. (2008). The Effects Of Mobile Speed Camera Introduction On Road Traffic Crashes And Casualties In A Rural County Of England. *Journal of Safety Research*, 39(1), 101-110.  
KGM. (2019). Trafik Kazaları Özet. Erişim Tarihi: 22.05.2021. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TrafikKazalariOzeti.pdf>  
Ng, C.F. & Small, K.A. (2012). Tradeoffs Among Free-Flow Speed, Capacity, Cost, And Environmental Footprint In Highway Design. *Transportation*, 39(6), 1259-1280.  
Şahin, Ö. (2004). *Hız Denetiminde Otomatik Video-Radar Sistemlerinin Uygulanabilirliği*. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi.  
Tenekeci, G. (2019). Computation and Assessment of Environmental Emissions Resulting from Traffic Operations at Roundabouts. *EJOSAT-European Journal of Science and Technology*, (Special Issue), 130-145.  
Trafik Tescil Ve Denetleme Şube Müdürlüğü, (2020). *Kaza Sonucuna Göre Kaza İstatistikleri*. Uşak.  
Türkiye Şoförler ve Otomobilciler Federasyonu, 1997, *Ticari Taşıt Şoförleri-Trafik Polisi İlişkileri*. Ankara.  
Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu Raporu Trafik Düzeni (2001). *Karayollarında Can Güvenliği Alt Komisyonu Raporu*. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, ISBN 975-19-2723-4, Ankara.  
Vadeby, A. & Forsman A. (2014). *Speed Distribution And Traffic Safety Measures*. Transport Research Arena (TRA), 14-17 April 2014, Paris.



# Thermal and Mechanical Properties of Sol-Gel Silica Coated Fabrics

Abdullah Tav<sup>1</sup>, Yahya Öz<sup>2</sup>, Halil İ. Akyıldız<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Bursa Uludağ University, Graduate School of Natural and Applied Science, Department of Polymeric Materials, Bursa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6999-8548), [abdullahtav@uludag.edu.tr](mailto:abdullahtav@uludag.edu.tr)

<sup>2</sup> Turkish Aerospace, R&D Directorate, Advanced Materials, Processes and Energies Technology Center, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3784-0495), [yahya.oz@tai.com.tr](mailto:yahya.oz@tai.com.tr)

<sup>3\*</sup> Bursa Uludağ University, Faculty of Engineering, Department of Textile Engineering, Bursa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8727-5829), [halilakyildiz@uludag.edu.tr](mailto:halilakyildiz@uludag.edu.tr)

(First received 25 September 2021 and in final form 23 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1000774)

**ATIF/REFERENCE:** Tav, A., Öz, Y. & Akyıldız, H. İ. (2021). Thermal and Mechanical Properties of Sol-Gel Silica Coated Fabrics. *European Journal of Science and Technology*, (31), 309-319.

## Abstract

Sol-gel method is a versatile materials synthesis method via which numerous materials can be produced in various forms. The method also can be utilized for the modification of materials surfaces. Textile substrates being relatively inexpensive and flexible, can be used in composite structures for high technology applications. In this study, silica sol suspensions prepared via hydrolysis of tetraethyl orthosilicate were used to coat cotton, polyamide 6.6 (PA 6.6), and polyethylene terephthalate (PET) fabrics and to alter their thermal and mechanical properties. The coating process was conducted by applying the silica sol suspension to the fabric without any other additive and with poly(vinyl alcohol) (PVA) employed as a binder. The morphologies of the materials before and after the coating process were analyzed with SEM, and uniform coating of the fabrics was confirmed. FTIR spectra of the samples were compared to observe changes in the chemical functional groups, which showed the decrease in the substrate polymer peaks upon coating and the presence of Si-O bonding in some instances. The silica coating effect on the fabric samples' thermal degradation was investigated using thermogravimetric analysis (TGA), showing that the thermal degradation behavior of the polymers mainly remained the same after the coating process. However, amounts of residual materials after burnout have differed with the coating type. The coatings' mechanical performances were tested with tensile testing, which showed that the effect of the coating is highly dependent on the fabric material.

**Keywords:** Sol-gel, Silica, Coating, Cotton, Polyamide 6.6, Polyethylene terephthalate.

## Sol-Jel Silika Kaplanmış Kumaşların Isıl ve Mekanik Özellikleri

### Öz

Sol-jel yöntemi çok çeşitli malzemelerin üretilbildiği, çok kullanışlı bir malzeme sentez yöntemidir. Bu yöntem, malzeme yüzeylerinin modifikasyonu içinde kullanılabilir. Görece ucuz ve esnek yapıda olan tekstil malzemeleri, yüksek teknoloji kompozit uygulamaları için de kullanılmaktadır. Bu çalışmada, tetraetil ortosilikatın hidrolizi ile hazırlanan silika sol süspansiyonları, pamuk, poliamid 6.6 (PA 6.6) ve polietilen tereftalat (PET) kumaşlarını kaplamak için kullanılmış olup termal ve mekanik özelliklerine olan etkisi incelenmektedir. Silika sol süspansiyonu içerisine herhangi ilave bir katkı kullanılmadan ve bağlayıcı olarak poli(vinil alkol) (PVA) kullanılarak kumaşların kaplanması gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin morfolojileri kaplama işleminden önce ve sonra SEM ile analiz edilmiş olup kaplamaların kumaş yüzeylerinde düzgün dağıldığı teyit edilmiştir. Fonksiyonel gruplardaki değişiklikleri gözlemek için numunelerin FTIR spektrumu ile kaplanmış malzemelerin kimyasal yapıları karşılaştırılmıştır. Numunelerin FTIR spektrumları kaplama sonrasında polimer piklerinin kaplama sonrası azaldığını ve bazı numunelerde Si-O bağlanma durumlarını göstermiştir. Silika kaplanmış kumaş numunelerinin termal bozunması üzerindeki etkisi, termogravimetrik analiz (TGA) kullanılarak incelenmektedir. Kaplama sonrasında polimerlerin ısıl bozunma davranışlarının büyük ölçüde aynı kaldığı ancak kalıntı miktarlarında kaplama türüne göre farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Kaplamaların mekanik performansı, büyük ölçüde kumaş malzemesine bağlı olduğu, çekme testi ile tespit edilmiştir. Çekme testleri sonucu kaplamalı kumaşların mekanik performansının büyük ölçüde kumaş hammaddesine bağlı olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sol-jel, Silika, Kaplama, Pamuk, Poliamid 6.6, Polietilen tereftalat.

Corresponding Author: [halilakyildiz@uludag.edu.tr](mailto:halilakyildiz@uludag.edu.tr)

## 1. Introduction

There is an increasing interest in the modification of textile fabric surfaces for a wide variety of applications. Traditional and innovative methods have been utilized to improve the surface properties of natural and synthetic textile fabrics to expand textile materials' applications via the acquisition of unique properties (Ghasemi, Mirzadeh, Bates, & Kamal, 2014; Periyasamy, Venkataraman, Kremenakova, Militky, & Zhou, 2020). Products of surface modification are of interest for membranes (Prevolnik, Zrim, & Rijavec, 2014), water resistivity (Purwar, Sharma, Sahoo, & Srivastava, 2015), wear resistance (Shahidi & Wiener, 2013), various composites (De Campos et al., 2014), optical applications (Akyildiz et al., 2014) and biomaterials (Amann & Minge, 2012). The modification methods can be roughly classified into chemical (wet) and mechanical (dry) modifications. Among these surface modification methods, application of nanoparticles (Akyildiz, Stano, Roberts, Everitt, & Jur, 2016), plasma treatment (Nadi, Boukhriss, Bentis, Jabrane, & Gmouh, 2018), nanoparticles, chemical vapor deposition (Akyildiz et al. 2014), and sol-gel methods (Teli & Annaldewar, 2017) are commonly used as chemical methods.

The sol-gel method is a material formation technique utilizing wet chemistry, which can be applied for surface functionalization. During a sol-gel process, the advancement of an inorganic colloidal suspension (sol) and gelation of the sol to a persistent fluid form (gel) creates a moldable material. Along with the cost-saving and straightforward processability, the sol-gel method also provides essential advantages such as high purity, low process temperature, and a wide selection of starting monomers for a promising route to diverse compositions of materials. Especially in the last 20 years, advanced functional applications for high added value enabled growing interest in this technique (X. Xu, Li, Lu, Zhang, & Wang, 2007). Silica sol-gel reactions are heavily studied in the literature. Usual silica precursor sources for the silanization are silicon alkoxides such as TEOS (tetraethyl orthosilicate) and TMOS (tetramethyl orthosilicate). The TEOS precursor is easy to process and less toxic than TMOS, making it a more common precursor of choice (Ismail, 2016; Shahidi & Wiener, 2013). After silica gel is produced, it can create different forms of materials such as fibers (Pirzada, Arvidson, Saquing, Shah, & Khan, 2012), films (Gurav, Jung, Park, Kang, & Nadargi, 2010), aerogel (Jelle, Baetens, & Gustavsen, 2015; Pirzada et al., 2012; J. W. Wu, Huang, Li, Runt, & Yeh, 2018), or bulk materials (Pisal & Rao, 2016).

Furthermore, silica materials made with different precursors can also be integrated into textile materials for various applications, mainly focusing on modifying the surface properties (Islam, Yu, & Naveed, 2019; Talebi, Habibi, & Zadhoush, 2018). Polysiloxanes, alkylsilanes, or their nanoparticles are covalently or physically bonded to cotton substrates tested for superhydrophobic applications with lower surface tension and higher surface roughness (Berendjchi, Khajavi, & Yazdanshenas, 2013; Roe & Zhang, 2009). Xu et al. tried SiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles and achieved superhydrophobic surfaces with increased toughness due to tremendous hydroxyl groups on the nanoparticles (Boticas et al., 2019).

One of the great challenges of integrating inorganic species to polymeric textiles is the low adhesion due to the lack of

strong chemical interaction between the materials (Lee, Choe, Kim, Lee, & Hwang, 2018). This challenge results in mechanical mismatch and limits the application of sol-gel coated materials. Due to the lack of silica's secondary bonding sites, adhesion on many substrates is not strong enough. Using binding polymers such as poly(vinyl alcohol) (PVA), poly(vinyl pyrrolidone) (PVP) can help to overcome these barriers and improve mechanical properties. For this purpose, film-forming materials with hydroxyl functional groups, like poly(vinyl alcohol) (PVA), were utilized as a binder in the literature (Nampi et al., 2011). Mehrdad Kokabiet al. prepared the PVA/clay wound dressings (Kokabi, Sirousazar, & Hassan, 2007), Jiangtao Xu et al. deposited Ag nanoparticles using the PVA padding method on cotton fabric (J. Xu et al., 2019), Natarajan et al. using PVA to surface modification polyester fabric to comfort properties changing hydrophilic character (Natarajan & Jeyakodi Moses, 2012). PVA is soluble in water and can interact with silica materials making it a better candidate to integrate silica materials into textile substrates. While mediating chemical interactions with silica coatings, it also acts as a flexible medium for them (Pingan, Mengjun, Yanyan, & Ling, 2017). Pingan et al. showed this effect by creating freestanding silica-PVA composite materials and testing their mechanical properties (Pingan et al., 2017).

In this study, cotton, polyamide 6.6 (PA 6.6), and polyethylene terephthalate (PET) fabric substrates were coated with silica to improve the thermal and mechanical properties. Silica coating was conducted via dip coating of the fabrics into silica sol, prepared with TEOS precursor with and without the PVA binder's presence. Polymeric textile materials were chosen since they have different functional groups (i.e., cotton-OH, PA 6.6-NH, and PES-COO), expecting that they will interact with the coating solutions in different ways. The motivation for this research is two-fold. On the one hand, modifying properties like the mechanical and thermal behavior of fabrics used in different engineering applications like structural parts of aerospace platforms is of great interest for researchers and engineers since typically different requirements are formulated for distinct parts. This study proves that with varying coating materials, different properties of fabrics can be achieved. On the other hand, this study is a first step for paving the way for obtaining coated fabrics with multifunctional properties for advanced engineering applications like heat blankets in helicopters. With wholesome approach effects of each component in the coating solution were investigated on different substrates. Samples were characterized using SEM, FTIR, TGA, and tensile testing to understand each coating's structure and performance relationship.

## 2. Material and Method

### 2.1. Materials

Tetraethyl orthosilicate (TEOS, 98%, CAS# 78-10-4) and poly(vinyl alcohol) (PVA =88000 Da, acetylation between 87.0-89.0%, CAS# 9002-89-5) was purchased from Sigma Aldrich. Hydrochloric acid (HCl 37% aqueous solution) and absolute ethanol (EtOH, 99.9 %) were purchased from Isolab Chemicals. Deionized water (DI) was used throughout the experiments. All chemicals were used as received without further processing. Cotton (plain weave), PA 6.6 (twill weave), and PET fabric (twill weave) were made of 100% of the same material and used without further processing. Fabrics were conditioned by keeping



samples for 24 hours in a room at 25 °C and 65% relative humidity.

## 2.2. Methods

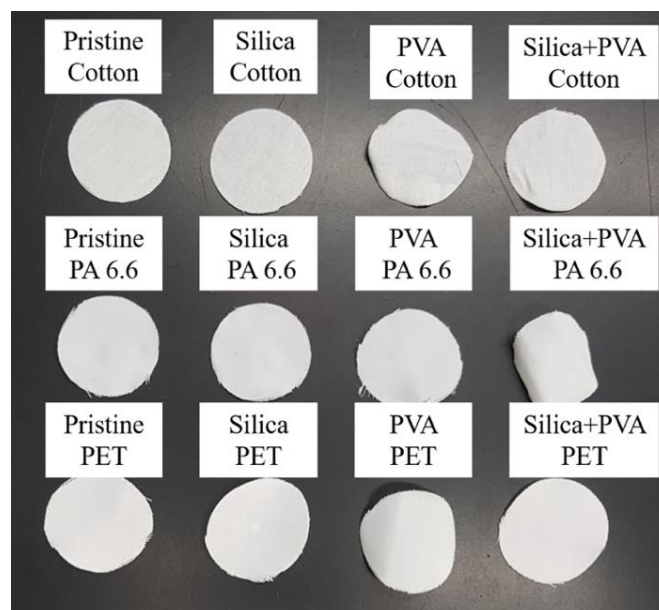
Silica sol was prepared via TEOS hydrolysis in EtOH and water with a weight ratio of 3:2:1, respectively. The hydrolysis is initiated under acidic conditions by the dropwise addition of 0.005 M HCl to adjust pH 2. The hydrolysis was carried out for 1 hour at room temperature at pH 2. PVA solution was prepared in DI water with 5 wt.% concentration in three steps. The desired amount of PVA was ensured to soak and swell in the water before stirring. This way, a more straightforward dissolution process was provided without dissolving the polymer chains. Then the mixture was processed with an ultrasonic bath at 60 °C for 2 hours. The dissolving process was finished with magnetic stirring at 90 °C for 30 minutes to obtain a clear solution. Samples were dip-coated using silica sol, PVA solution, and Silica+PVA (1:1 volume ratio) solutions. Before coating, pristine specimens were conditioned for 24 hours in a climatically controlled room to achieve controlled moisture content in each of them. Then, specimens were dipped into each solution vertically. After sufficient submerging, specimens were taken out of the solution and suspended in the air until the dripping of excess solution stopped. Then they were placed into an oven to dry and cure at 80 °C for 30 minutes. The same procedure was applied to each type of coating solution.

The samples were coated with an Au/Pd thin film before surface morphologies were investigated in SEM. The corresponding micrographs were recorded using an FEI Quanta 200 FEG SEM operating under a high vacuum at 5 kV potential while recording with a secondary electron detector. Fourier transform infrared (FTIR) spectra of these pristine and coated fabric substrates were recorded with a diamond crystal ATR attachment, using a Perkin Elmer Spectrum Two spectrometer in the wavenumber range from 400 to 4000  $\text{cm}^{-1}$ . The thermal stability of samples was determined via thermogravimetric analysis (TGA) from ambient temperature to 900 °C with a heating rate of 10 °C/min, using a TA Instrument TGA Q500 under a nitrogen atmosphere. The tensile tests of pristine and coated fabric substrates were carried out using a Shimadzu universal tensile test system according to the ISO 4606 standard in a climatically controlled room (65 % RH, 25 °C). The specimens were measured for their elongation, stress, and strain up until breaking point. The test was performed with a Shimadzu universal testing system with a 5 kN load cell.

## 3. Results and Discussion

Images of the fabric samples before and after coating with silica and PVA are given in Figure 1. The handle of the fabric samples showed changes after the coating process. When the fabrics were coated with silica sol, they became rigid and brittle. However, they remained flat like the original fabrics. Also, the only silica-coated samples were bent; dust particles were falling from the sample, indicating the rigidity of the coating. When the samples were coated with PVA, the handle of the fabrics slightly changed and became more rigid compared to the pristine samples. The coating also caused bending of the fabrics from the corners, attributed to fabrics being freestanding during the drying process; thus, PVA coating was shrinking during thermal drying. After samples were coated with silica and PVA mixture, they were more flexible than the only silica coated fabrics and more rigid than the PVA only coating. The presence of the PVA

in the coating also reduced the dusting problem significantly. However, curving of the fabrics from edges also present for the silica+PVA coated samples.

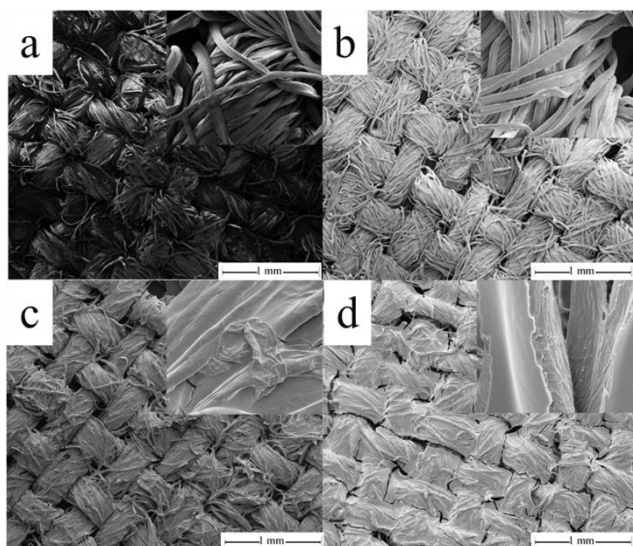


**Figure 1:** Images of cotton, PA 6.6, and PET fabrics with and without coatings.

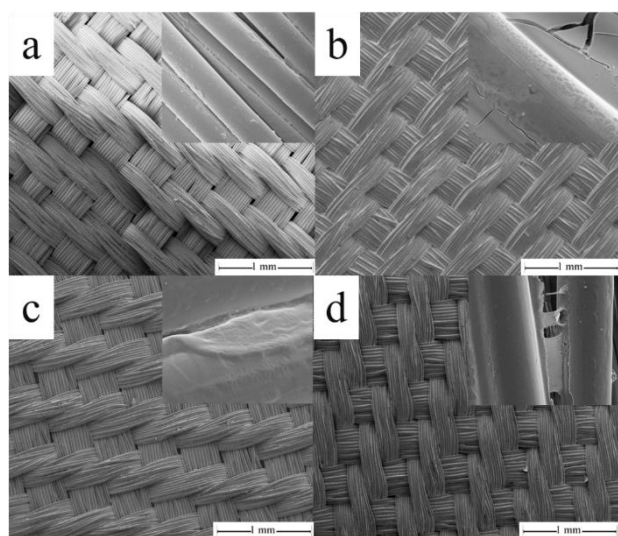
SEM micrographs of the pristine and coated samples were obtained, and results are given in Figure 2 to observe the morphological changes on cotton fabrics upon the coating process. For the pristine cotton given in Fig. 2(a) plain weave structure of the fabric and the ribbon-like shape of the cotton fibers (inset image) are observable as expected. Surfaces of the pristine cotton fabrics are clean and free of any other materials. Upon dip coating of the cotton sample in silica sol, it goes through some changes as shown in Fig. 2(b). When the inset image is examined, fibers are coated independently of each other, indicating the sol could diffuse into the fabric well and be dispersed homogeneously throughout the fabric. The cotton sample coated in PVA solution is given in Fig. 2(c), which shows that polymer coating was also uniform on the sample surface. Compared to the cotton sample coated in silica sol, in PVA coated sample fibers are covered with the PVA and they are connected to each other via the coating. However, the yarns in the fabric are still independent of each other, and the fabric exhibits porosity. The coating gets thicker and more covering after coating the cotton fabric in the silica and PVA mixture, as seen in Fig. 2(d). The sample is covered with a film covering the whole surface of the fabric. It is clear that the coating is not as flexible as the fabric and has cracks forming due to the handling of the samples.

SEM image of the pristine PA 6.6 fabric is given in Fig. 3(a), showing the twill weave structure of the fabric made of multifilament fibers. Pristine PA 6.6 fabrics surface is clear and clean as expected. Upon PA 6.6 sample was dipped into a silica sol fabric surface covered with the silica material as shown in Fig. 3(b). Contrasting the cotton sample, upon silica coating of PA 6.6, the fabric's surface is covered more, and some of the pores between the yarns are filled with the coating. The inset image of Fig. 3(b) shows a coated region between two fibers and the brittle nature of the coating material. Sample coated in PVA solution, given in Fig. 3(c), shows similar morphology compared to changes to the cotton sample coated in PVA. When the fabric

was coated in silica and PVA mixture, the fabric's surface is evenly coated, as seen in Fig. 3(d). The inset image of the same sample clearly shows that PVA is acting as a binder that holds the fibers together. Furthermore, the PVA matrix is also expected to bind the silica particles to the fabric as it acts as a binder material.



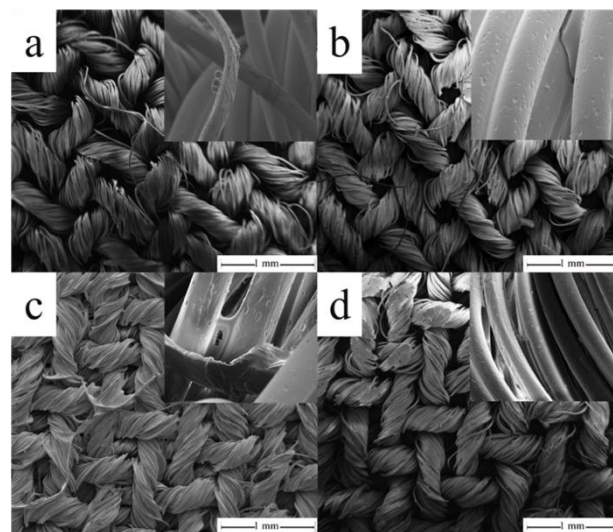
**Figure 2:** SEM micrographs of a) pristine, b) silica-coated, c) PVA coated, and d) silica+PVA coated cotton fabrics.



**Figure 3:** SEM micrographs of a) pristine, b) silica-coated, c) PVA coated, and d) silica+PVA coated PA 6.6 fabrics.

SEM micrograph of the pristine PET fabric is given in Fig. 4(a). The twill structure and smooth multifilament nature of the fabric are observable. The fabric structure still exists with the spaces between yarns upon silica coating, as seen in Fig. 4(b). As shown in the inset image, fiber surfaces are coated with silica, and the brittleness of the coating is visual. When the samples were coated in PVA solution, similar to other types of fabrics, the fabric is homogeneously coated, the fiber to fiber bonding via PVA is evident, as shown in Fig. 4(c). Upon coating PET samples in silica and PVA mixture, Fig. 4(d) shows that the fibers are bound to each other, but yarns are not connected as much. Overall the silica coatings (Fig. 2(b), Fig. 3(b), Fig. 4(b)) on fabric samples show no agglomerates but complete smooth finishing. High magnification images of the silica-coated samples show the brittle nature of the silica coating. Furthermore, PVA acts as a binder to hold fibers together when

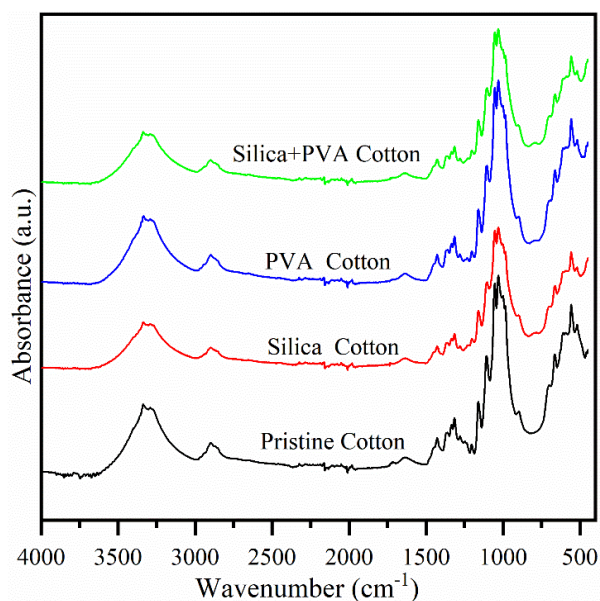
applied to fabrics themselves. When applied with the silica sol, it also acts as a binder to hold the silica particles, explaining the less dusting of PVA+silica coated samples as discussed above. It can also be inferred that coating performance depends on the surface roughness and permeability characteristics of fabrics.



**Figure 4:** SEM micrographs of a) pristine, b) silica-coated, c) PVA coated, and d) silica+PVA coated PET fabrics.

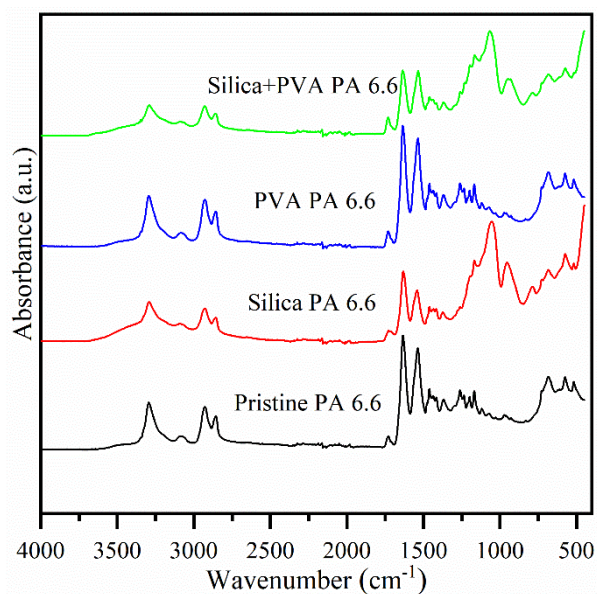
FTIR spectra of pristine and coated fabrics were taken to investigate the changes in the samples' chemical functional groups. When the pristine cotton spectrum is analyzed in Figure 5, the broad peak at  $3300\text{ cm}^{-1}$  is attributed to the -OH stretching vibrations of cellulose. Signals at  $1161$ ,  $1060$ , and  $995\text{ cm}^{-1}$  are assigned to the -(C-O-C) and -(C-O) stretching vibration of glucosidic units as suggested in the literature (Allen, Foulk, & Gamble, 2007; Chung, Lee, & Choe, 2004). However, upon coating the cotton fabric with colloidal silica sol, the pattern of the spectra of the silica-coated fabric does not show significant changes compared to the pristine fabric, except the intensity of the peaks coming from the polymer is decreased. According to the literature, the (Si-OH) stretch expected at  $1081\text{--}995\text{ cm}^{-1}$  is eclipsed due to cotton's signals at the same region (Rosace, Guido, Colleoni, & Barigozzi, 2016). Silica materials also have another peak expected to be observed at  $791\text{ cm}^{-1}$  due to the -(Si-O-Si) vibration shadowed by the cotton peaks at the same region. Therefore, the decrease in the intensity of cotton-related peaks is attributed to the presence of silica on the surface and can be accepted as evidence of silica coating (Zeng, Wang, Zhou, & Lin, 2015). As a control, cotton fabric is also coated with only PVA to see any interaction between the substrate and the binder polymer. The spectrum of PVA-coated cotton is also given in Fig. 5. In the FTIR spectrum of pure PVA characteristic peaks of -OH groups, CH stretching and bending and C-O stretch peaks are observed as given in the literature (Costa, Mansur, Pereira, & Mansur, 2012; Mansur, Sadahira, Souza, & Mansur, 2008). These peaks are also observed in the spectrum of the cotton. Due to the overlap of the functional groups, no significant change in the PVA-coated cotton spectrum is observed compared to the pristine fabric. Similarly, upon coating the fabric with PVA and silica, cotton peaks are observed to be dominant in all regions, blocking the observation of any peaks attributed to the presence of silica or PVA. However, the intensity of the spectrum is significantly higher than the only silica-coated sample indicating that with the addition of PVA, the amount of silica deposited on the surface is reduced (G. Wu et al., 2020).



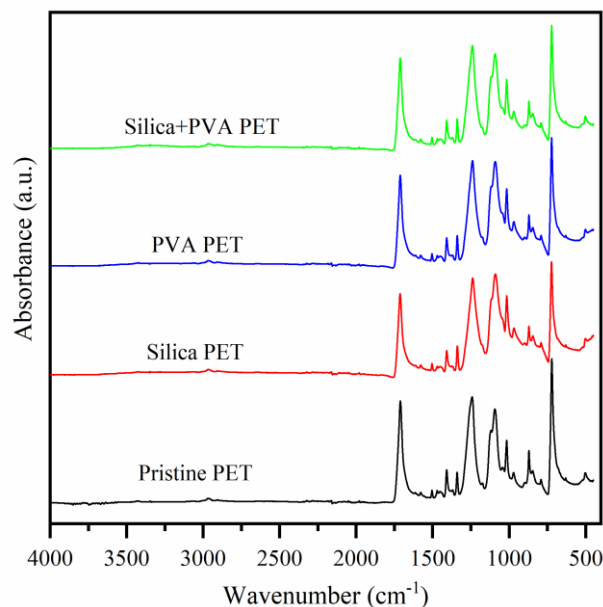


**Figure 5:** FTIR spectra of the pristine and coated cotton fabrics.

FTIR spectra of the pristine coated PA 6.6 samples are given in Figure 6. PA 6.6 chemical structure is made of aliphatic short  $\text{CH}_2$  chains connected with amide groups. Therefore, characteristic peaks of  $\text{CH}_2$ , N-H, and C=O functional groups are expected in the spectrum. In the spectrum of pristine PA 6.6, N-H group's stretching and bending signals are observed at  $3295$  and  $1633$   $\text{cm}^{-1}$ , respectively (F. Li, Xing, & Ding, 2008; L. Li & Yang, 2009). Peaks observed at  $2900$  and  $2800$   $\text{cm}^{-1}$  are attributed to the symmetric and asymmetric stretching of the  $\text{CH}_2$  groups in the polymer. Characteristic C=O group peak of the PA 6.6 is observed at  $1650$   $\text{cm}^{-1}$ . Furthermore, the fingerprint region of the spectrum confirms the PA 6.6 structure of the pristine fabric samples. Upon silica sol coating of the PA 6.6 samples, the FTIR spectrum in Fig. 2(b) shows all these characteristic peaks of the PA 6.6 even if they were reduced in intensity. However, the intensity change is not the only change in the spectrum. The broad peak observed in the range of  $3600$  to  $3300$   $\text{cm}^{-1}$  region, which is characteristic of O-H groups, is increased in the intensity, which can be attributed to the presence of Si-OH state of coated samples. Furthermore, two peaks observed at  $1100$  and  $810$   $\text{cm}^{-1}$  also confirm the presence of the silica since they can be attributed to the  $-(\text{Si}-\text{O}-\text{Si})$  stretching bands as suggested by the literature (Giustino, 2005; Rubio, Rubio, & Oteo, 1998). Thus, during the coating process, we could deposit the silica material to the fabric surfaces. Once the sample is coated with the PVA, the FTIR spectrum again looks very similar to the pristine sample. In the chemical structure of the PVA, different than the PA 6.6, there are O-H groups expected to have a broad peak presence in the spectrum. However, the observance of no significant change in the expected region (i.e.,  $3300$ - $3600$   $\text{cm}^{-1}$ ) is attributed to the small amount of PVA deposition to the fabric surface, which is not necessarily a negative result nor unexpected. Nevertheless, a small amount of PVA would be preferable since PVA is considered a binder material rather than a coating material. After the PA 6.6 sample was coated with the PVA and silica together, the spectrum is very similar to the silica-coated PA 6.6 sample, indicating the silica material's successful deposition to the surface.



**Figure 6:** FTIR spectra of the pristine and coated PA 6.6 fabrics.

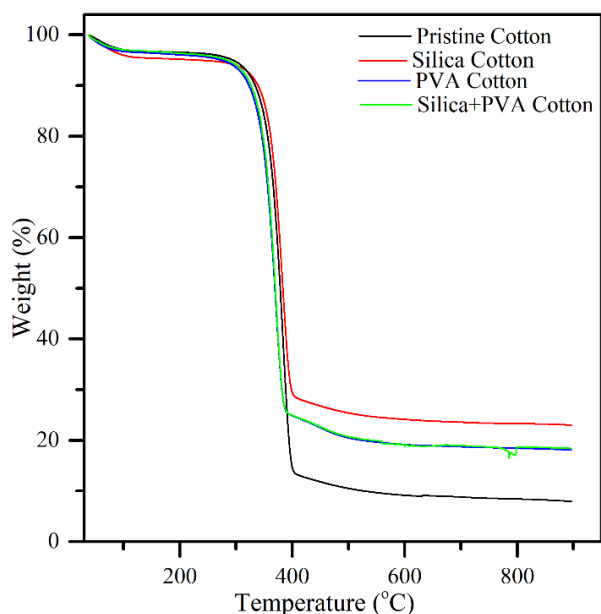


**Figure 7:** FTIR spectra of the pristine and coated PET fabrics.

FTIR spectra of the pristine and coated PET samples are given in Figure 7. In the pristine PET sample spectrum, the most notable vibration groups defining the PET are at  $1720$ ,  $1096$ , and  $1242$   $\text{cm}^{-1}$ , associated with  $-(\text{C}=\text{O})$  groups in the ester groups of the polymer. Additionally, a peak at  $2912$   $\text{cm}^{-1}$  can be attributed to the symmetrical stretching of the  $-(\text{C}-\text{H})$  group and the characteristic of PET. Upon coating PET with silica sol, peaks remain primarily similar to the pristine fabric, except a slight change observed in the range of  $1100$  to  $800$   $\text{cm}^{-1}$ . In this range, the spectrum's baseline is increased, which can be associated with new material. As mentioned above, Si-O vibrations are expected in this range. Thus this change can be attributed to the silica presence after the coating (Giustino, 2005). After the sample is coated with PVA, the spectrum is very similar to the pristine PET sample. As for the PA 6.6 sample, this result is attributed to the minimal uptake of the PVA onto the PET fabric. Sample coated with silica and PVA shows a spectrum with very minimal change compared to the pristine sample. When all the

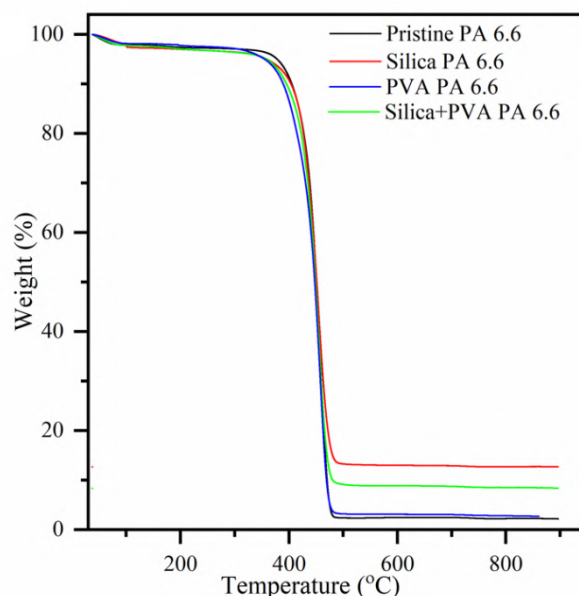
spectra are compared, the silica material's presence is more dominant in the PA 6.6 samples than the cotton and PET (Giustino, 2005; Rubio et al., 1998). This result might be an indication of more interaction taking place between the amide groups and silica sol species. Nonetheless, OH groups of the cotton and ester groups of the PET do not show the same interaction.

The thermal behavior of pristine and coated textile substrates surveyed by thermogravimetric analysis under the nitrogen environment is given in Figure 8. According to the TGA results of the cotton fabrics given in Fig. 8, the pristine cotton sample shows the first weight loss step that starts at 100 °C associated with the sample's water loss. Since cotton is a hygroscopic material, it can absorb water from a humid environment; thus, in this step, about 5% of the weight was lost. The second weight-loss step, which onsets at 280 °C and lasts until 400 °C is attributed to the decomposition of the polymer. At this stage, most of the polymer decomposed into volatile species as well as to a char. Above 400 °C residual mass continues to decrease at a very slow pace which can be associated with the densification of the char left. At the end of the survey conducted until 900 °C, only about 8% of the original weight remained. After the sample was coated within the silica sol, more mass left the samples associated with the water and solvent residual from the coating process during the low-temperature weight loss step. During the main polymer degradation step, the degradation temperature is slightly increased, associated with the coating material slowing down the process. After the sample was heated up to maximum temperature, the remaining mass is increased to ~23%. Considering the mass uptake during the coating process was about 24%, some of this residue was due to char left from cotton, and the rest was silica material. PVA-coated cotton fabric shows a low-temperature weight loss step similar to the cotton followed by the polymer degradation step. In the case of PVA coating, the degradation temperature slightly decreases. However, the residual mass percentage of the PVA coated sample is surprisingly ~10 %, slightly higher than the cotton itself. Sample coated with PVA and silica shows almost exact thermal degradation pattern with the PVA coated sample.



**Figure 8:** TGA weight loss of the pristine and coated cotton fabrics.

TGA thermograms of the pristine and coated PA 6.6 fabrics are given in Figure 9. The pristine sample has a low-temperature weight loss step associated with the removal of volatile species such as water. Since PA 6.6 is less hydrophilic than cotton, it is expected to have a lower moisture content, as the thermogram suggests. Furthermore, polymer degradation starts close to 400 °C and ends around 440 °C demonstrating that the degradation temperature of PA 6.6 is higher than cotton. After the sample heated to 900 °C, ~2% of the material is left. Compared to cotton, this amount is significantly low due to the aliphatic nature of PA 6.6. After the sample was coated with silica degradation pattern does not change. Nonetheless, the residual material of silica-coated PA 6.6 is ~12%, perhaps mainly consisting of silica material. When the sample was coated with PVA, thermal behavior and the residual amount are the same as the pristine fabric, indicating PVA does not affect the thermal behavior of PA 6.6, unlike the cotton samples. Once the sample is coated with silica and PVA, the degradation steps remain similar, whereas the residue amount is ~8.5%. Intermediate results indicate that the presence of silica has a significant effect on the thermal degradation of the samples.



**Figure 9:** TGA weight loss of the pristine and coated PA 6.6 fabrics.

TGA results of the pristine and coated PET samples are given in Figure 10. As PET is a hydrophobic material, low-temperature weight loss due to water desorption is not observed for PET samples. Polymer degradation starts just below 400 °C and ends at around 435 °C. The residue amount left for the pristine PET fibers is about 17%, attributed to the polymer's semi-aromatic structure. Upon silica coating onto the fibers, polymer degradation follows an almost exact polymer degradation pattern. At the end of the degradation, the residue amount is increased to 27%, attributed to both silica remnants and the polymer char. When PET fibers were coated with PVA, the polymers' degradation starts below 400 °C then, following the PET degradation behavior. However, in the case of the PVA coated PET sample, the residue amount is decreased to 13.75%, attributed to the presence of PVA on the fibers. PET fibers coated with silica and PVA show perhaps one of the most exciting results in this study. This sample degradation step is shifted about 5 °C to a higher temperature indicating the coating presence has a protective effect against degradation on the



polymer. The residue amount for this sample is about 24% which is also very close to the sample coated with only silica.

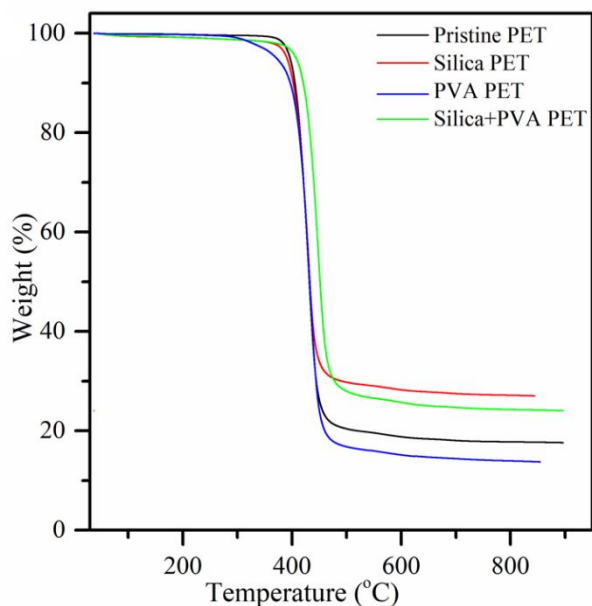


Figure 10: TGA weight loss of the pristine and coated PET fabrics.

Important parameters such as temperature at which 5% of the polymer are degraded ( $T_d$  5%), maximum degradation temperature ( $T_d$  max), and the residual amount at the end of each

sample's thermogravimetric analysis are given Table 1. One of the pattern changes among the samples takes place for the  $T_d$  5% of the samples. The  $T_d$  5% significantly decreases for all the substrates for the silica-coated sample, while pristine and other coating configurations show similar values. This behavior can be attributed to the introduction of more volatile species during the silica coating process. However, this argument contradicts silica+PVA coated samples since they still show similar  $T_d$  5% values to the pristine substrates. Another feasible discussion can be made based on the thermal properties of materials. The thermal conductivity of the silica materials is higher as they are compared to the polymers. Furthermore, specific heat capacities of the polymeric materials are expected to be higher than the silica material. We think the combination of such properties causes the whole material to absorb more energy, therefore, starting the degradation process at slightly lower temperatures. When samples are coated with silica and PVA, this behavior is not observed due to PVA presence. The  $T_d$  max values in the table remain similar for each substrate type independent of the coating type, indicating that only polymer is degraded during these significant degradation steps. These results can be backed by the samples' residue amounts, which shows silica coating increases the residue amount significantly for all of the substrate types.

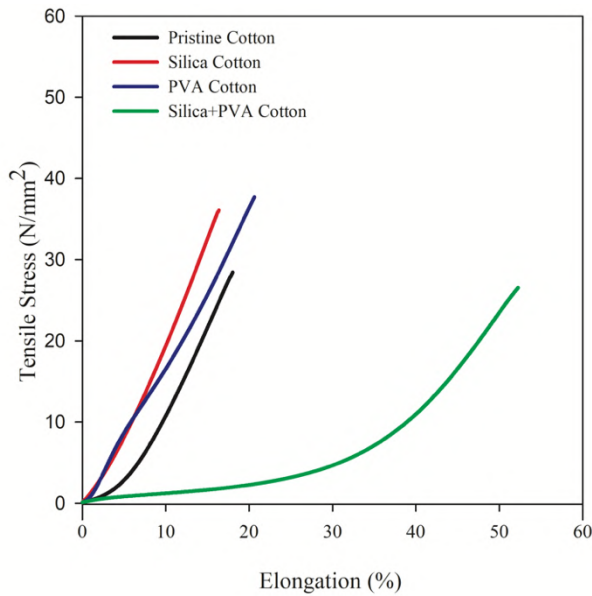
Table 1. The parameters recorded for the pristine and coated samples during TGA.

Substrates	Coating	$T_d$ 5% (°C)	$T_d$ max (°C)	Residual Weight
Cotton	Pristine	283	371	8.17
	Silica	229	372	23.16
	PVA Coated	275	370	18.29
	Silica+PVA	285	371	18.57
PA 6.6	Pristine	365	445	2.26
	Silica	345	441	12.74
	PVA	340	443	2.71
	Silica+PVA	345	444	8.48
PET	Pristine	393	426	17.71
	Silica	392	430	27.03
	PVA	363	425	13.75
	Silica+PVA	392	432	24.15

The mechanical tensile behaviors of the pristine and coated substrates were tested using a universal tensile test system, and the results are given in Figure 4. Pristine cotton fabric shows 28 MPa of strength and about 18% elongation at the breaking point,

as given in Fig. 11. Tensile strength of the cotton sample coated in silica sol increased to 36 MPa while elongation value decreases to 16%. Sample coated with PVA shows ~38 MPa of tensile strength and 20% elongation. A coating on the sample

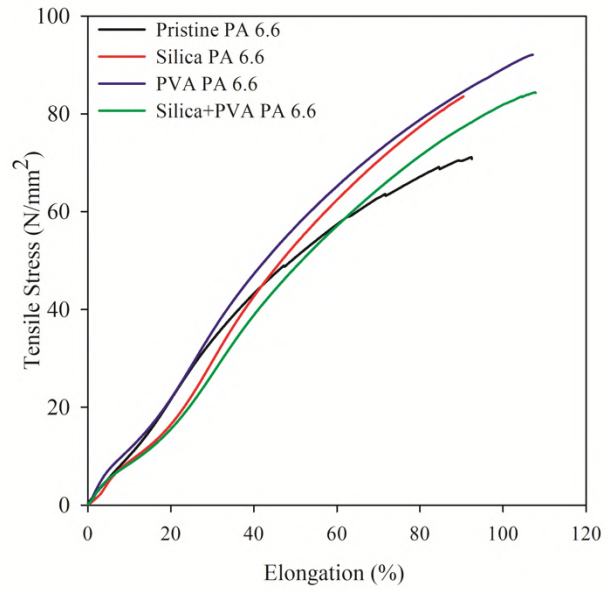
increases the tensile strength of the material independent of coating being rigid (i.e., silica) or soft (i.e., PVA) material. This is attributed to the coating material filling the gaps in the fabric and connecting the fibers and yarns to each other, therefore increasing the tensile strength of the material. While this is happening, the elongation of the material is slightly decreased in the case of rigid coating (i.e., silica) and slightly increased in polymer coating (i.e., PVA), as expected. Perhaps the most exciting result among the cotton fabric samples was observed for the fabric coated with silica and PVA at the same time. This sample showed ~26 MPa of tensile strength, close to pristine cotton, while showing elongation of 51%. This synergetic improvement in elongation is attributed to strong chemical adhesion between the substrate and coating material due to the silanization of both cotton and PVA. Cotton fabric made of staple fibers is enhanced in terms of the elongation via connection of the fibers PVA film, while this is chemically ensured with the silanol bridges created by the silica sol presence.



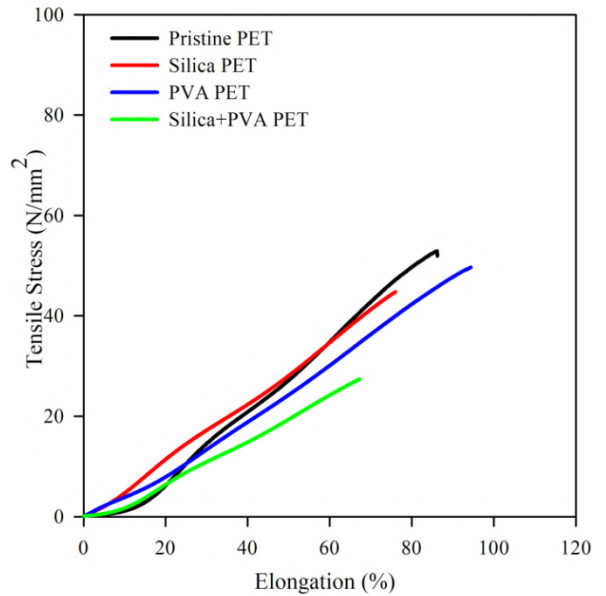
**Figure 11:** Mechanical tensile results of the pristine and coated cotton fabrics.

In Fig. 12, the mechanical tensile performance of the PA 6.6 samples is given. The pristine sample has a tensile strength of ~71 MPa and an elongation of ~91%. After the sample was coated within silica sol, the tensile strength of the fabric increased to 83 MPa while the strain rate remains at 90%. PA 6.6 samples coated with PVA exhibit 91 MPa of strength and 106% of strain. Similar to the cotton fabrics, silica only or PVA only coatings increase the tensile strength of the fabric while silica coating slightly reduces the strain rate, and PVA coating increases the strain. Sample coated with silica and PVA has a tensile strength of 84 MPa and 107% of strain. Looking at the performance of this sample, obviously, the strength of the materials is similar to the silica-coated sample, whereas the strain rate is similar to the PVA-coated sample. This behavior is different compared to the cotton samples. There are different possible explanations for this. The first one is the difference in the chemical structure of cotton and PA 6.6. Coating materials are expected to interact with the -OH on the surface of cotton fibers, whereas -NH groups are the expected groups of interaction on the PA 6.6 surfaces. Perhaps the interaction of the precursors is stronger for the PA 6.6 case. The second

explanation can be based on the form of the fibers being staple fibers in the case of cotton and being filament fibers in PA 6.6. Filament fibers go from one end to the other end of the fabric coating material connect them along with the yarn axis, which results in better performance.



**Figure 12:** Mechanical tensile results of the pristine and coated PA 6.6 fabrics.



**Figure 13:** Mechanical tensile results of the pristine and coated PET fabrics.

In Fig. 13, the stress-strain behavior of the pristine and coated PET fabrics is given. Pristine PET fabric has a tensile strength of ~53 MPa and a strain rate of ~86%. After PET fabrics were coated within silica sol, tensile strength decreased to ~45%, and the strain rate is decreased to 76%. PET sample coated with PVA showed a tensile strength of 50 MPa and strain rate of 94%. After the PET sample was coated with silica and PVA together, a drastic decrease in strength to 27 MPa and strain to 67% observed. Compared to cotton and PA 6.6, PET samples showed very different responses attributed to the differences in the polymers' chemical structure. Both the cotton and PA 6.6 have functional groups to interact with the silica sol and PVA,

whereas PET has only ester groups with very limited interaction. We think silica is a rigid material that might be damaging the fibers during the testing due to this lack of interaction. In this configuration, PVA cannot improve the interaction with PET fibers since it cannot interact with the substrate as well.

The results of the tensile testing are given in Table 2. As discussed above, the overall effect of the coating is highly dependent on the substrate type. This can be attributed to several factors such as the chemical characteristics of the polymer and the fabric structure (i.e., weaving pattern, the weight of the

fabric, yarn type etc.). A comparison of the mechanical changes within the raw material groups according to the coating type is more reasonable in this case. However, there is a trend that can be deduced from the data. Polymer with functional groups that can chemically interact (i.e., cotton and PA 6.6) with the coating materials show similar performance changes with the coating type. Coating cotton and PA 6.6 with silica and PVA separately increase the tensile strength of the fabrics, whereas coating with PVA and silica together results in lower tensile strength compared to the separate coatings. Furthermore, PET also shows a reduction in the tensile strength when coated with PVA+silica.

Table 2. Tensile testing results of the pristine and coated fabrics.

Substrate	Coating	Tensile Strength (MPa)	Std. Dev.	Elongation (%)	Std. Dev.
Cotton	Pristine	28,0	0,2	18,2	0,4
	w/ Silica	36,0	2,2	16,0	0,8
	w/ PVA	37,8	2,4	20,2	1,0
	w/ Silica+PVA	25,9	9,7	51,0	0,7
PA 6.6	Pristine	70,9	0,8	91,0	0,2
	w/ Silica	83,3	0,8	90,2	2,3
	w/ PVA	91,4	2,0	106,7	2,8
	w/ Silica+PVA	84,0	3,9	107,2	3,1
PET	Pristine	52,8	1,9	85,9	2,1
	w/ Silica	44,8	1,4	75,9	2,3
	w/ PVA	50,0	9,3	94,5	2,6
	w/ Silica+PVA	27,3	5,9	67,5	6,0

#### 4. Conclusions and Recommendations

The effect of silica, PVA, and silica+PVA coatings on cotton, PA 6.6, and PET fabric materials was comparatively studied. Morphological analysis of the samples in SEM showed material type, fiber, and fabric structure play an important role on the formation of the coating material. FTIR analysis of the samples showed that detection of the coating signals was difficult for two reasons. One reason is the signal overlap of the coating and materials. Another reason is the low thickness of the coatings causing hard-to-detect signals. Despite these reasons, FTIR spectra of the PA 6.6 samples have indications of the silica coating on the surface of the fabrics. The TGA analysis showed the effect of the coating materials on the degradation behavior of the fibers. Silica-coated materials showed higher residue amounts and lower

T<sub>d</sub> 5% values in general. This result was associated with the specific heat and thermal conductivity of the materials. The mechanical performance of the fibers was enhanced after the coating processes in general. The highest improvement was observed for the PA 6.6 substrates, attributed to the fibers' continuous structure and the nature of the chemical interactions between coating and substrate.

#### 5. Acknowledge

We would like to thank The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) (Project Number: 118C100). We also offer our gratitude to Turkish Aerospace Scientific Research Projects program (TUSAŞ BAP).

## References

- Akyildiz, H. I., Lo, M., Dillon, E., Roberts, A. T., Everitt, H. O., & Jur, J. S. (2014). Formation of novel photoluminescent hybrid materials by sequential vapor infiltration into polyethylene terephthalate fibers. *Journal of Materials Research*, 29(23), 2817–2826. <https://doi.org/10.1557/jmr.2014.333>
- Akyildiz, H. I., Stano, K. L., Roberts, A. T., Everitt, H. O., & Jur, J. S. (2016). Photoluminescence Mechanism and Photocatalytic Activity of Organic-Inorganic Hybrid Materials Formed by Sequential Vapor Infiltration. *Langmuir*, 32(17), 4289–4296. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.6b00285>
- Allen, A., Foulk, J., & Gamble, G. (2007). Preliminary Fourier-transform infrared spectroscopy analysis of cotton trash. *Journal of Cotton Science*, 11(1), 68–74.
- Amann, M., & Minge, O. (2012). Biodegradability of poly(vinyl acetate) and related polymers. *Advances in Polymer Science*, 245(January 2012), 137–172. <https://doi.org/10.1007/12-2011-153>
- Berendjchi, A., Khajavi, R., & Yazdanshenas, M. E. (2013). Application of nanosols in textile industry. *International Journal of Green Nanotechnology*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/10.1177/1943089213506814>
- Boticas, I., Dias, D., Ferreira, D., Magalhães, P., Silva, R., & Figueiro, R. (2019). Superhydrophobic cotton fabrics based on ZnO nanoparticles functionalization. *SN Applied Sciences*, 1(11). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1423-2>
- Chung, C., Lee, M., & Choe, E. K. (2004). Characterization of cotton fabric scouring by FT-IR ATR spectroscopy. *Carbohydrate Polymers*, 58(4), 417–420. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.08.005>
- Costa, H. S., Mansur, A. A. P., Pereira, M. M., & Mansur, H. S. (2012). Engineered hybrid scaffolds of poly(vinyl alcohol)/bioactive glass for potential bone engineering applications: Synthesis, characterization, cytocompatibility, and degradation. *Journal of Nanomaterials*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/718470>
- De Campos, B. M., Calefi, P. S., Ciuffi, K. J., De Faria, E. H., Rocha, L. A., Nassar, E. J., ... Maia, I. A. (2014). Coating of polyamide 12 by sol-gel methodology. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 115(2), 1029–1035. <https://doi.org/10.1007/s10973-013-3384-9>
- Ghasemi, H., Mirzadeh, A., Bates, P. J., & Kamal, M. R. (2014). Effect of Polyamide 66 on the Mechanical and Thermal Properties of Post-Industrial Waste Polyamide 6. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 53(17), 1794–1803. <https://doi.org/10.1080/03602559.2014.935398>
- Giustino, F. (2005). *Infrared Properties Of The Si-Sio 2 Interface From First Principles*.
- Gurav, J. L., Jung, I. K., Park, H. H., Kang, E. S., & Nadargi, D. Y. (2010). Silica aerogel: Synthesis and applications. *Journal of Nanomaterials*, 2010, 23. <https://doi.org/10.1155/2010/409310>
- Islam, S. R., Yu, W., & Naveed, T. (2019). Influence of silica aerogels on fabric structural feature for thermal isolation properties of weft-knitted spacer fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 14. <https://doi.org/10.1177/1558925019866446>
- Ismail, W. N. W. (2016). Sol-gel technology for innovative fabric finishing—A Review. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 78(3), 698–707. <https://doi.org/10.1007/s10971-016-4027-y>
- Jelle, B. P., Baetens, R., & Gustavsen, A. (2015). *Aerogel insulation for building applications, in the sol-gel handbook*. 1385–1412.
- Kokabi, M., Sirousazar, M., & Hassan, Z. M. (2007). PVA-clay nanocomposite hydrogels for wound dressing. *European Polymer Journal*, 43(3), 773–781. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2006.11.030>
- Lee, K. J., Choe, Y. J., Kim, Y. H., Lee, J. K., & Hwang, H. J. (2018). Fabrication of silica aerogel composite blankets from an aqueous silica aerogel slurry. *Ceramics International*, 44(2), 2204–2208. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.10.176>
- Li, F., Xing, Y., & Ding, X. (2008). Silica xerogel coating on the surface of natural and synthetic fabrics. *Surface and Coatings Technology*, 202(19), 4721–4727. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2008.04.048>
- Li, L., & Yang, G. (2009). Variable-temperature FTIR studies on thermal stability of hydrogen bonding in nylon 6/mesoporous silica nanocomposite. *Polymer International*, 58(5), 503–510. <https://doi.org/10.1002/pi.2559>
- Mansur, H. S., Sadahira, C. M., Souza, A. N., & Mansur, A. A. P. (2008). FTIR spectroscopy characterization of poly (vinyl alcohol) hydrogel with different hydrolysis degree and chemically crosslinked with glutaraldehyde. *Materials Science and Engineering C*, 28(4), 539–548. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2007.10.088>
- Nadi, A., Boukhriss, A., Bentis, A., Jabrane, E., & Gmouh, S. (2018). Evolution in the surface modification of textiles: a review. *Textile Progress*, 50(2), 67–108. <https://doi.org/10.1080/00405167.2018.1533659>
- Nampi, P. P., Kume, S., Hotta, Y., Watari, K., Itoh, M., Toda, H., & Matsutani, A. (2011). The effect of polyvinyl alcohol as a binder and stearic acid as an internal lubricant in the formation, and subsequent sintering of spray-dried alumina. *Ceramics International*, 37(8), 3445–3450. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.05.149>
- Natarajan, S., & Jeyakodi Moses, J. (2012). Surface modification of polyester fabric using polyvinyl alcohol in alkaline medium. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 37(3), 287–291.
- Periyasamy, A. P., Venkataraman, M., Kremenakova, D., Militky, J., & Zhou, Y. (2020). Progress in sol-gel technology for the coatings of fabrics. *Materials*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/MA13081838>
- Pingan, H., Mengjun, J., Yanyan, Z., & Ling, H. (2017). A silica/PVA adhesive hybrid material with high transparency, thermostability and mechanical strength. *RSC Advances*, 7(5), 2450–2459. <https://doi.org/10.1039/C6RA25579E>
- Pirzada, T., Arvidson, S. A., Saquing, C. D., Shah, S. S., & Khan, S. A. (2012). Hybrid silica-PVA nanofibers via sol-gel electrospinning. *Langmuir*, 28(13), 5834–5844. <https://doi.org/10.1021/la300049j>
- Pisal, A. A., & Rao, A. V. (2016). Comparative studies on the physical properties of TEOS, TMOS and Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> based silica aerogels by ambient pressure drying method. *Journal of Porous Materials*, 23(6), 1547–1556. <https://doi.org/10.1007/s10934-016-0215-y>
- Prevolnik, V., Zrim, P. K., & Rijavec, T. (2014). Textile Technological Properties of Laminated Silica Aerogel Blanket. *Contemporary Materials*, 1(5), 117–123. <https://doi.org/10.7251/cm.v1i5.1507>
- Purwar, R., Sharma, S., Sahoo, P., & Srivastava, C. M. (2015).



- Flexible sericin/polyvinyl alcohol/clay blend films. *Fibers and Polymers*, 16(4), 761–768. <https://doi.org/10.1007/s12221-015-0761-y>
- Roe, B., & Zhang, X. (2009). Durable Hydrophobic Textile Fabric Finishing Using Silica Nanoparticles and Mixed Silanes. *Textile Research Journal*, 79(12), 1115–1122. <https://doi.org/10.1177/0040517508100184>
- Rosace, G., Guido, E., Colleoni, C., & Barigozzi, G. (2016). Influence of textile structure and silica based finishing on thermal insulation properties of cotton fabrics. *International Journal of Polymer Science*, 2016(March). <https://doi.org/10.1155/2016/1726475>
- Rubio, F., Rubio, J., & Oteo, J. L. (1998). A FT-IR study of the hydrolysis of Tetraethylorthosilicate (TEOS). *Spectroscopy Letters*, 31(1), 199–219. <https://doi.org/10.1080/00387019808006772>
- Shahidi, S., & Wiener, J. (2013). Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing. *Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing*, (January 2013). <https://doi.org/10.5772/3436>
- Talebi, Z., Habibi, N., & Zadhoush, A. (2018). Surface Modification of Basalt Fibers by Nanostructured Silica Aerogel. *Fibers and Polymers*, 19(9), 1843–1849. <https://doi.org/10.1007/s12221-018-7710-5>
- Teli, M. D., & Annaldewar, B. N. (2017). Superhydrophobic and ultraviolet protective nylon fabrics by modified nano silica coating. *Journal of the Textile Institute*, 108(3), 460–466. <https://doi.org/10.1080/00405000.2016.1171028>
- Wu, G., Yang, Y., Lei, Y., Fu, D., Li, Y., Zhan, Y., ... Teng, M. (2020). Hydrophilic nano-SiO<sub>2</sub>/PVA-based coating with durable antifogging properties. *Journal of Coatings Technology and Research*, 17(5), 1145–1155. <https://doi.org/10.1007/s11998-020-00338-z>
- Wu, J. W., Huang, Y. Q., Li, H. B., Runt, J., & Yeh, J. T. (2018). Properties of polyamide 6,10/poly(vinyl alcohol) blends and impact on oxygen barrier performance. *Polymer International*, 67(4), 453–462. <https://doi.org/10.1002/pi.5528>
- Xu, J., Jiang, S. X., Peng, L., Wang, Y., Shang, S., Miao, D., & Guo, R. (2019). AgNps-PVA-coated woven cotton fabric: Preparation, water repellency, shielding properties and antibacterial activity. *Journal of Industrial Textiles*, 48(10), 1545–1565. <https://doi.org/10.1177/1528083718764908>
- Xu, X., Li, B., Lu, H., Zhang, Z., & Wang, H. (2007). The interface structure of nano-SiO<sub>2</sub>/PA66 composites and its influence on material's mechanical and thermal properties. *Applied Surface Science*, 254(5), 1456–1462. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2007.07.014>
- Zeng, C., Wang, H., Zhou, H., & Lin, T. (2015). Self-cleaning, superhydrophobic cotton fabrics with excellent washing durability, solvent resistance and chemical stability prepared from an SU-8 derived surface coating. *RSC Advances*, 5(75), 61044–61050. <https://doi.org/10.1039/c5ra08040a>



# Hodgkin Lenfoma Olgularında Üç Farklı Radyoterapi Tekniği Kullanılarak Hedef Hacim ve Kritik Organ Dozlarının Retrospektif İncelenmesi

Hamit Başaran<sup>1\*</sup>, Gökçen İnan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Selçuk Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2122-8720), drhbasaran@gmail.com

<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2995-0256), gokceninan85@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 15 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 15 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010145)

**ATIF/REFERENCE:** Başaran, H. & İnan, G. (2021). Hodgkin Lenfoma Olgularında Üç Farklı Radyoterapi Tekniği Kullanılarak Hedef Hacim ve Kritik Organ Dozlarının Retrospektif İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 320-325.

## Öz

Bu çalışmada bilateral boyun ve mediasten tutulumu olan Hodgkin Lenfoma (HL) olgularında alan içinde alan (Field in Field (FinF)), butterfly yoğunluk ayarlı radyoterapi (B-YART) ve rainbow yoğunluk ayarlı radyoterapi (R-YART) tekniklerinin dozimetrik olarak karşılaştırılması amaçlanmıştır. Oluşturulan tedavi planları planlanan hedef hacim (Planned Target Volume-(PTV)) dozları, konformite indeksi (CI), homojenite indeksi (HI) ve monitör ünit (MUs) açısından değerlendirildi. Ayrıca kritik organların (total akciğer, kalp, spinal kord, tiroid, larenks, özafagus, sağ parotis ve sol parotis)  $D_{ort}$  (Gy),  $V_5$ ,  $V_{10}$ ,  $V_{20}$  ve  $V_{30}$  dozları karşılaştırıldı. PTV için ortalama dozlar FinF tekniğinde  $30.19 \pm 0.17$  Gy iken, B-YART ve R-YART tekniklerinde sırasıyla  $30.74 \pm 0.19$  Gy ve  $30.80 \pm 0.13$ ' dür. Bu üç teknik için PTV' nin aldığı ortalama dozlar benzerdir. Kritik organlardan bilateral akciğer ortalama dozlarının benzer olduğu görülmüştür. Fakat FinF planlarında  $V_5$  gibi düşük doz alan hacim, B-YART ve R-YART planlarında ise  $V_{20}$  ve  $V_{30}$  gibi yüksek doz alan hacim anlamlı olarak düşük bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Tiroid ve larenks için  $D_{ort}$  ve  $V_{30}$  değerleri B-YART ve R-YART planlarında anlamlı şekilde düşük olduğu görüldü ( $p$  değerleri sırası ile 0.001, 0.003). HL tedavisinde  $V_{20}$  ve  $V_{30}$  gibi yüksek doz alan hacimlerde B-YART ve R-YART tekniklerinin FinF tekniğine göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. HL tedavilerinde kritik yapıların aldığı dozlara bakılarak kişiye uygun planlama tercih edilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Butterfly, Hodgkin Lenfoma, Rainbow, Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi

## Evaluation of Target Volume and Critical Organ Doses in Hodgkin Lymphoma Cases Using Three Different Radiotherapy Techniques

### Abstract

In this study, it was aimed to compare the dosimetric methods of field-in-field (Field in Field (FinF)), butterfly intensity modulated radiotherapy (B-IMRT), and rainbow intensity modulated radiotherapy (R-IMRT) in Hodgkin Lymphoma (HL) cases. Plans were evaluated in terms of planned target volume (PTV) doses, conformity index (CI), homogeneity index (HI), and monitor unit (MUs). In addition,  $D_{ort}$  (Gy),  $V_5$ ,  $V_{10}$ ,  $V_{20}$  and  $V_{30}$  doses for total lung, heart, spinal cord, thyroid, larynx, esophagus, right parotid and left parotid were compared as critical organs. The mean doses for PTV were  $30.19 \pm 0.17$  Gy for the FinF technique, and  $30.74 \pm 0.19$  Gy and  $30.80 \pm 0.13$  for the B-IMRT and R-IMRT techniques, respectively. The average doses received by PTV for the three techniques are similar. It was observed that the mean bilateral lung doses for the plans were similar, but it was found to be significantly lower in the low-dose volume FinF plans such as  $V_5$ , and high-dose volumes such as  $V_{20}$  and  $V_{30}$  in the B-IMRT and R-IMRT plans ( $p < 0.05$ ).  $D_{ort}$  and  $V_{30}$  dose values for thyroid and larynx were found to be significantly lower in B-IMRT and R-IMRT plans ( $p$  values 0.001, 0.003, respectively). In the treatment of HL, B-IMRT and R-IMRT techniques seem to be more advantageous than FinF technique in high dose volumes such as  $V_{20}$  and  $V_{30}$ . In HL treatments, individual planning can be preferred by looking at the doses taken by critical structures.

**Keywords:** Hodgkin's Lymphoma, Butterfly, Intensity-Modulated Radiotherapy, Rainbow

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: [drhbasaran@gmail.com](mailto:drhbasaran@gmail.com)

## 1. Giriş

Kemoterapi ve radyoterapi tedavi bileşenleri erken evre hodgkin lenfoma (HL) hastalarında önemli bir rol oynamaktadır (1, 2). Bu nedenle kemoterapi ve radyoterapi, tek başına yada kombine olarak uygulanabilmektedir. Bu tedavi yöntemleri ile lenfomalarda, özellikle HL hastalarında kür oranı yüksektir. Ancak lenfoma tedavisinin amacı en az komplikasyon ile kür sağlamak olmalıdır. Hodgkin lenfomasından etkilenen hastalarda yüksek kür oranlarına ulaşmak, kemoterapi ve radyasyondan kaynaklanan toksisiteyi en aza indirme ihtiyacı ile etkili tedaviyi dengelemeye bağlıdır (3, 5).

Erken evre HL etkilenen hastaların genel prognozu mükemmeldir ve toplam 15 yıllık sağkalım oranı %80'den fazladır (6). Radyoterapi alan boyutunda ve dozunda azalmanın yanı sıra gelişmiş radyoterapi teknikleri, HL hastalarında normal doku maruziyetini daha da azaltabilir (7). Çoğu HL hastasının tedaviden sonra uzun süreli sağkalım elde etmesiyle, özellikle meme ve akciğer kanseri (8, 9) ve kardiyovasküler hastalık gibi ikinci maligniteler olmak üzere uzun vadeli komplikasyon riski çok önemlidir (10, 11). Son dönemlerde modern konformal radyoterapi teknikleriyle birlikte, modern ileri görüntüleme sistemleri ve görüntü füzyonu sayesinde tedavi algoritmaları oldukça gelişmiş ve ışınlanan tedavi hacimleri azaltılarak, normal dokuların aldığı gereksiz dozlarda azalma sağlanmıştır. Böylece uzun vadeli komplikasyon riskini en aza indirerek oldukça kişiselleştirilmiş tedaviler planlanabilmektedir.

Bu çalışmada erken evre HL tanılı bilateral boyun ve mediasten yerleşimli olgularda, field-in-field (Field in Field (FinF)) ve iki farklı yoğunluk ayarlı radyoterapi (YART) tekniklerinin (butterly- yoğunluk ayarlı radyoterapi (B-YART ve rainbow yoğunluk ayarlı radyoterapi (R-YART)) dozimetrik olarak karşılaştırılması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

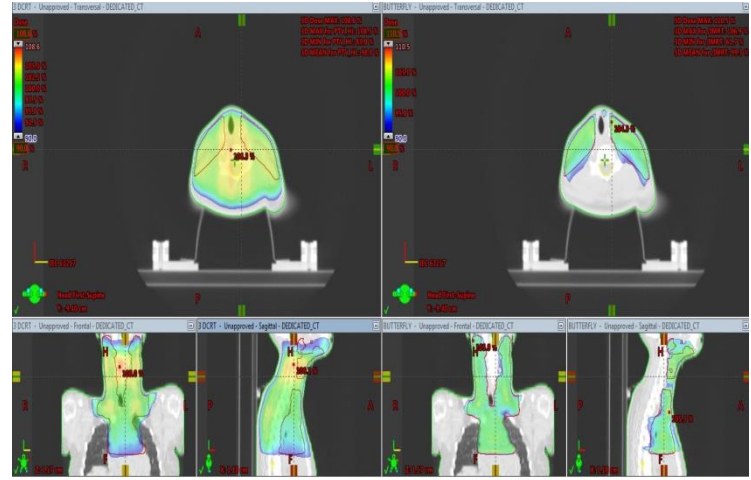
### 2.1. Hasta Seçimi ve Görüntüleme

Bu çalışmaya Selçuk Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı'nda bilateral boyun ve mediastinal tutulumu olan HL tanısı ile radyoterapi almış olan 10 hasta seçildi. Yapılan bu çalışma için Selçuk Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Etik Kurulu'ndan 28 Eylül 2021 tarihli ve 2021/428 nolu karar ile izin alındı. Hastalar sırtüstü pozisyonda baş ve boyun termoplastik maske ile sabitlendi ve 3 mm'lik kesit aralığı ile bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleri elde edildi. BT görüntüleri tedavi planlama sistemine (TPS) (Eclipse, sürüm 15.1; Varian) aktarıldı.

### 2.2. Hedef Hacim ve Kritik Organlar

Hastaların kemoterapi öncesi ve sonrası F-18 florodeoksiglukoz-pozitron emisyon tomografisi bilgisayarlı tomografi (FDG-PET BT) taramaları planlama tomografisi ile füzyon edildi ve Görünür Hedef Hacim (GTV) olarak kaydedildi. Klinik Hedef Hacim (CTV) ve Risk Altındaki Organlar (OAR) aynı radyasyon onkoloğu tarafından şekillendirildi. CTV için üst sınırı C5-C6 aralıktan başlayarak bilateral servikal, supraklaviküler ve infraklaviküler lenf nodları dahil edildi. Alt kısımda ise medyastinel ve bilateral hiler lenfnodları alana dahil edildi. Tüm hastalar için akciğerler, kalp spinal kord, tiroid, larenks, özafagus ve parotid bezleri OAR

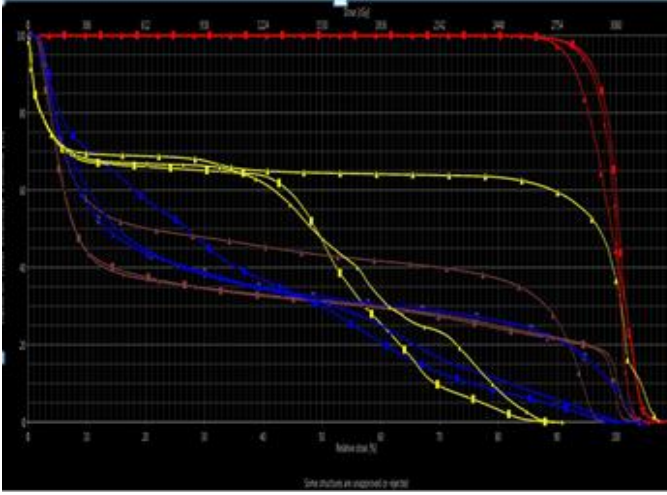
olarak BT veri setlerinde tanımlandı. EORTC-GELA (Groupe d'Études des Lymphomes de l'Adulte) H8 çalışma kılavuzlarına göre (12), CTV kemoterapi öncesi CTV (kemoterapi öncesi BT ve PET-CT taramaları temelinde şekillendirilmiş) olarak tanımlandı. Fakat kemoterapi sonrası anatomik sınırlara göre modifiye edildi. Bu klavuzda önerildiği gibi, büyük kan damarları ve kalp, mümkün olduğu kadar CTV'ye dahil edilmedi. Planlama Hedef Hacmi (PTV) oluşturmak için CTV'ye 8 mm'lik bir marj eklendi (mediastinal lenf nodlarının internal motion telafi etmek için 5 mm ve set-up hatası için 3 mm) (13).



Şekil 1. FinF ve B-YART planlarının doz karşılaştırması

## 2.3. Radyoterapi Planlama

Radyoterapi planlaması için Varian marka (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA) tedavi cihazı ve tedavi planlama sistemi (TPS) (Eclipse ver. 15.1) kullanılarak üç farklı teknikte (FinF, B-YART ve R-YART) tedavi planları yapıldı. Radyoterapi dozu günlük 1.8 Gy ile toplamda 30.6 Gy olacak şekilde planlandı. FinF tedavi tekniği için karşılıklı iki alan AP/PA (antero-posterior ve postero-anterior) kullanıldı. FinF planları ön alan enerjisi 6MV, arka alan enerjisi 18 MV olarak seçildi. Daha sonra her bir ışın ana alan harici 2 alt alan (segment) eklenerek PTV'de ki doz fazlalığı azaltılmaya çalışıldı. Bu işlem sırasında ana alan ve alt alanlara uygun ağırlıkların verilmesine önem verildi. Çalışmada YART planları ise tersten planlama (inverse planing) yöntemiyle 5 alandan oluşan B-YART ve R-YART teknikleri kullanılarak hazırlandı. B-YART tekniği 1 ön, 2 ön oblik ve 2 arka oblik, R-YART tekniği ise 1 ön ve 4 ön oblik ışın alanı kullanılacak şekilde planlandı. Her iki YART planlarında da 6 MV enerji kullanıldı. Tüm tedavi planları Anizotropik Analitik Algoritma (AAA) ile hesaplatıldı.



**Şekil 2.** FinF, B-YART ve R-YART teknikleri ile tedavi planı hazırlanmış olan bir hastanın doz volüm histogramı karşılaştırması (▲: FinF tekniği ●B-YART tekniği, ■: R-YART tekniği, tekniği kırmızı: PTV, mavi: akciğer, kahverengi: kalp, sarı: spinal kord)

## 2.4. Plan Değerlendirme ve İstatistiksel Analiz

Çalışmada yapılan tedavi planlarının hedef ve kritik organ dozlarının değerlendirilmesinde doz volüm histogramlarından (DVH) yararlanıldı. FinF ve iki ayrı YART planlarından elde edilen DVH'ler karşılaştırılarak PTV, total akciğer, kalp, spinal kord, tiroid, sağ parotis, sol parotisin aldığı dozlar değerlendirildi. Homojenite indeksi (HI) ICRU tarafından yayımlanan Rapor 83'e göre tanımlandı (14).

**Tablo 1.** Planlanan hedef hacimdeki dozimetrik değerler

$$HI = \frac{(D_{2\%} - D_{98\%})}{D_{50\%}}$$

Bu formülde  $D_{2\%}$ ,  $D_{50\%}$  ve  $D_{98\%}$ , sırasıyla hedef hacmin %2, %50 ve %98'inin aldığı doz olarak tanımlanmaktadır. HI değerinin 0 olması hedef hacmin homojen doz dağılımına sahip olduğunu göstermektedir. Konformite İndeksi, tedavi edilen hacmin (TV), planlanan hedef hacme (PTV) oranıdır.  $CI = TV / PTV$  olarak tanımlanır. CI 1'e eşit olduğu durumlar ise ideal doz dağılımını ifade etmektedir. CI 1'den büyük ise ışınlanan hacim hedef hacimden büyük, 1'den küçük ise hedef hacim kısmi olarak ışınlanmaktadır (15). Bu değer TPS ile otomatik olarak elde edildi. DVH'leri kullanılarak PTV'ye ait  $D_{mak}$  (Gy),  $D_{ort}$  (Gy) (hedef hacimde maksimum ve ortalama dozlar),  $D_{98}$ ,  $D_{95}$ ,  $D_{50}$ , ve  $D_2$  verileri karşılaştırıldı. Total akciğer, kalp, spinal kord, tiroid, larenks, özafagus, sağ parotis ve sol parotis için  $D_{ort}$  (Gy),  $V_5$ ,  $V_{10}$ ,  $V_{20}$  ve  $V_{30}$  dozları karşılaştırıldı. Ayrıca planların MU'leri değerlendirildi.

## 2. 5. İstatistiksel Analiz

Statistical Package for Social Sciences (SPSS) 25.1 versiyonu kullanılarak istatistiksel analizi yapıldı. İstatistiksel analizde iki grup arasındaki fark için Paired samples T-test kullanıldı ve  $p < 0.05$  değeri anlamlı kabul edildi.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Bulgular

FinF, B-YART ve R-YART tedavi planlamalarından elde edilen PTV'ye ait doz değerleri, HI, CI ve MU değerleri Tablo 1.'de verildi. PTV'ye ait tanımlanan doz ile kapsamı açısından ( $D_{mak}$ ,  $D_{ort}$ ) üç planda da anlamlı fark bulunmadı. HI'nın en ideal değeri "0" olduğundan en homojen doz dağılımının olduğu planlar B-YART ve R-YART tekniklerinde anlamlı bulundu ( $p = 0.007$ ,  $p = 0.009$ ). CI'nın en ideal değeri "1" olduğundan en konformal teknik aynı şekilde B-YART ve R-YART tekniklerinde anlamlı değer elde edildi ( $p = 0.000$ ). FinF, B-YART ve R-YART teknikleri için ortalama MU sayıları sırasıyla  $180 \pm 4$ ,  $1258 \pm 108$  ve  $1067 \pm 65$  olarak bulundu. FinF tekniği için gerekli olan MU değerinin anlamlı olarak daha düşük olduğu gözlemlendi ( $p = 0.000$ ).

Tablo 2.'de kritik organlar için üç teknik arasındaki dozimetrik değerlerin karşılaştırılması verildi. Üç farklı planlama için bilateral akciğer ortalama dozlarının benzer olduğu görüldü.  $V_5$  gibi düşük doz alan hacim 3 DCRT planlarında,  $V_{20}$  ve  $V_{30}$  gibi yüksek doz alan hacim B-YART ve R-YART planlarında anlamlı olarak düşük bulundu ( $p < 0.05$ ). Kalbin  $D_{ort}$ ,  $V_{10}$  ve  $V_{20}$  dozları B-YART ve R-YART tekniklerinde, FinF tekniğine göre daha düşüktü ve istatistiksel olarak anlamlıydı ( $p < 0.05$ ). Spinal kord  $D_{ort}$ ,  $V_{10}$  ve  $V_{20}$  dozları FinF planlarında, B-YART ve R-YART planlarında göre anlamlı olarak yüksek bulundu ( $p$  değerleri sırası ile 0.016, 0.017, 0.030). Özafagus  $V_{20}$  ve  $V_{30}$  gibi yüksek doz alan hacim B-YART ve R-YART planlarında anlamlı olarak düşük olduğu bulundu. Tiroid ve larenks için  $D_{ort}$  ve  $V_{30}$  doz değerleri B-YART ve R-YART planlarında anlamlı şekilde düşük olduğu görüldü ( $p$  değerleri sırası ile 0.001, 0.003). Sağ ve sol parotis  $D_{ort}$  ve  $V_{20}$  değerleri B-YART tekniğinde, R-YART ve FinF tekniklerine göre anlamlı derece düşük bulundu ve istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi ( $p = 0.001$ ).



**Tablo 1.** Planlanan hedef hacimdeki dozimetrik değerler

Parametre	(A)	(B)	(C)	p value		
	FinF (Ort±SS)	BUTTERFLY YART (Ort±SS)	RAINBOWYA RT (Ort±SS)	A vs. B	A vs. C	B vs. C
PTV D <sub>98</sub>	27.67±0.45	28.50±0.33	28.76±0.49	<b>0.001</b>	<b>0.005</b>	0.166
PTV D <sub>95</sub>	28.01±0.58	29.18±0.35	29.44±0.41	<b>0.004</b>	<b>0.005</b>	0.062
PTV D <sub>50</sub>	30.09±0.27	30.89±0.17	30.90±0.13	0.147	0.234	0.881
PTV D <sub>2</sub>	32.49±0.25	32.28±0.40	32.34±0.20	0.126	0.158	0.639
PTV <sub>mak</sub>	33.16±0.22	32.57±0.34	32.70±0.60	0.154	0.142	0.583
PTV <sub>ort</sub>	30.19±0.17	30.74±0.19	30.80±0.13	0.128	0.215	0.379
CI	1.65±0.10	0.71±0.10	0.76±0.08	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	0.097
HI	0.16±0.026	0.11±0.007	0.11±0.01	<b>0.007</b>	<b>0.009</b>	0.224
MU	180±4	1258±108	1067±65	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.010</b>

**Tablo 2.** Risk altındaki organlarda dozimetrik değerler

Organ	Parametre	(A)	(B)	(C)	p value		
		FinF (Ort±SS)	BUTTERFLY YART (Ort±SS)	RAINBOW YART (Ort±SS)	A vs. B	A vs. C	B vs. C
Total Akciğer	Dort	9.05±1.69	8.26±1.86	8.82±2.12	0.053	0.571	0.425
	V <sub>5</sub>	38.52±7.98	45.14±11.90	57.52±15.30	0.102	<b>0.006</b>	<b>0.000</b>
	V <sub>10</sub>	30.11±5.74	32.26±6.69	38.41±9.87	0.147	0.016	0.019
	V <sub>20</sub>	22.58±4.90	13.41±4.34	10.52±4.13	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.001</b>
	V <sub>30</sub>	5.99±4.31	1.16±1.43	0.59±0.90	<b>0.033</b>	<b>0.031</b>	0.110
Kalp	Dort	7.62±5.14	6.07±4.10	5.81±4.37	<b>0.016</b>	<b>0.043</b>	0.615
	V <sub>5</sub>	31.91±21.992	26.42±19.56	25.28±22.54	0.100	0.292	0.753
	V <sub>10</sub>	7.44±20.13	19.80±14.94	18.71±16.20	<b>0.017</b>	<b>0.024</b>	0.699
	V <sub>20</sub>	19.75±16.55	12.37±11.04	12.07±11.17	<b>0.030</b>	<b>0.024</b>	0.723
	V <sub>30</sub>	0.00±0.00	5.45±7.27	5.69±6.51	0.126	0.085	0.786
Spinal Kord	Dort	21.26±2.36	13.20±1.24	11.01±1.49	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	0.002
	V <sub>5</sub>	72.37±7.80	71.74±8.23	70.19±10.17	0.094	0.077	0.140
	V <sub>10</sub>	69.74±7.76	68.80±7.75	60.97±11.31	0.309	<b>0.029</b>	0.031
	V <sub>20</sub>	67.00±8.54	24.87±5.28	8.19±7.90	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	0.003
	V <sub>30</sub>	46.53±13.08	0.00±0.00	0.03±0.09	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	0.363
Tiroid	Dort	31.28±0.60	27.25±2.02	28.25±1.75	<b>0.001</b>	<b>0.003</b>	0.156
	V <sub>5</sub>	81.43±36.02	100±0.00	100±0.00	0.262	0.262	-
	V <sub>10</sub>	96.02±9.74	84.45±36.48	100±0.00	0.507	0.363	0.344
	V <sub>20</sub>	95.69±10.55	88.10±11.37	96.39±4.41	0.370	0.899	0.121
	V <sub>30</sub>	91.10±14.44	44.98±10.74	45.26±15.63	<b>0.003</b>	<b>0.003</b>	0.944
Larenks	Dort	31.21±0.42	21.34±6.40	24.47±3.73	<b>0.014</b>	<b>0.008</b>	0.051
	V <sub>5</sub>	100±0.00	100±0.00	100±0.00	-	-	-
	V <sub>10</sub>	100±0.00	85.99±16.30	100±0.00	0.089	-	0.082
	V <sub>20</sub>	100±0.00	55.39±32.24	78.64±19.27	<b>0.019</b>	<b>0.042</b>	0.023
	V <sub>30</sub>	93.61±11.02	24.45±12.46	24.51±12.21	<b>0.007</b>	<b>0.007</b>	0.968
Özafagus	Dort	22.41±4.49	19.69±6.03	20.63±5.50	0.086	0.265	0.108
	V <sub>5</sub>	78.42±17.49	76.65±17.76	77.34±17.43	<b>0.022</b>	0.235	0.200
	V <sub>10</sub>	77.39±18.20	67.99±15.27	74.11±16.71	<b>0.003</b>	0.124	0.027
	V <sub>20</sub>	73.89±18.52	55.79±13.25	50.50±20.53	<b>0.017</b>	<b>0.058</b>	0.542
	V <sub>30</sub>	32.92±13.13	12.89±6.18	15.97±13.96	<b>0.043</b>	<b>0.034</b>	0.514
Sağ Parotis	Dort	19.34±6.14	15.64±6.20	18.01±6.63	<b>0.000</b>	0.112	0.015
	V <sub>5</sub>	81.29±19.63	74.22±23.47	82.87±20.22	0.065	0.680	0.151
	V <sub>10</sub>	72.58±24.70	62.27±26.48	72.13±25.42	<b>0.015</b>	0.884	0.011
	V <sub>20</sub>	55.06±25.03	37.62±22.48	51.01±29.90	<b>0.001</b>	0.349	0.069
	V <sub>30</sub>	9.81±11.22	12.37±13.71	11.59±12.04	0.760	0.824	0.630

<b>Sol Parotis</b>	<b>Dort</b>	21.06±3.79	16.20±4.16	18.07±5.54	<b>0.001</b>	<b>0.038</b>	0.065
	<b>V<sub>5</sub></b>	72.14±32.38	78.62±17.22	83.63±19.13	0.682	0.507	0.021
	<b>V<sub>10</sub></b>	77.03±14.42	67.15±16.62	75.76±24.99	0.066	0.843	0.369
	<b>V<sub>20</sub></b>	61.28±16.84	38.08±16.38	46.36±22.37	<b>0.001</b>	<b>0.034</b>	0.079
	<b>V<sub>30</sub></b>	19.93±10.92	11.47±10.06	9.09±7.68	0.279	0.151	0.132

### 3.2. Tartışma

Lenfoma tedavisinden elde edilen olumlu sonuçlar, tedavi morbiditesini en aza indirmeyi amaçlayan tedavi tekniklerinin geliştirilmesine yön vermektedir. Modern tedavi protokolleri, tedaviden sonra geç toksisiteye neden olduğu bilinen kemoterapi ve radyasyon maruziyetini en aza indirmek için özel olarak tasarlanmaktadır (15). Mediasten tutulumu olan HL hastalara radyasyon verilmesi hedefin akciğerler, meme, yemek borusu, kalp ve alt yapılar gibi kritik yapılara yakınlığı nedeniyle özellikle zordur. YART tedavisinin mediasten tutulumu olan lenfomada kullanımı birçok çalışmada araştırılmıştır (7,16). YART tedavisinin akciğer ve meme (kadınlarda) gibi düşük dozlarla maruz kalan doku hacmini artırırken doz uyumunu da iyileştirdiği görülmektedir. YART tedavisinin AP-PA ile elde edilemeyen bir diğer avantajı, zor veya karmaşık anatomik konumlarda dozu uyarlama yeteneğidir. Örneğin, kalbin sağ tarafındaki mediastinal düğümlerin ortak tutulumu geleneksel radyasyon planlaması için zordur, çünkü AP-PA ışınları kaçınılmaz olarak göğüslerden girerken YART tekniği bu sorunu önlemek için ışın açısını değiştirme esnekliği sunmaktadır.

YART tedavisi her hasta için en iyi teknik olmayabilir; örneğin, hedef hacim bilateral aksilla içerdiğinde YART ile kabul edilebilir düşük akciğer dozları elde etmek daha zordur ve bu gibi durumlarda geleneksel AP-PA teknikleri daha iyi sonuç verebilir. Ayrıca YART tedavisinin dezavantajlarından biri de, kritik noktalara verilen düşük integral dozlardır.

Bazı radyasyon onkologları, normal yapıların yüksek doza maruz kalması ve meme gibi büyük hacimli normal dokulara düşük radyasyon dozu verilmesi endişeleri nedeniyle HL kadın hastalarda YART kullanma konusunda isteksizdir. Meme kanseri riski açıkça doza bağımlı olmasına rağmen, düşük doz radyasyon ve karsinogenez arasındaki ilişki daha spekülattir (17, 18). Weber ve ark. YART tekniğini geleneksel tekniklerle karşılaştırmak için doğrusal olmayan bir doz risk modeli kullanırken, YART'ın diğer konformal tekniklerle karşılaştırıldığında radyasyona bağlı kanserlerin tahmini riskini artırabileceği sonucuna varmışlardır (19).

Yapmış olduğumuz bu çalışma HL tanılı hastalarda özel bir ışın düzenlemesi ile YART tedavilerinin geleneksel AP-PA tekniğine kıyasla normal yapıların yüksek radyasyon dozlarına maruz kalmasını etkili bir şekilde azaltabileceğini göstermektedir.

Goodman ve ark. HL ve nonhodgking lenfoma tanılı 16 hasta için YART, konvansiyonel paralel-karşıt (AP-PA) ve üç boyutlu konformal (3D-CRT) planlarını, 18 ila 45 Gy (medyan, 36 Gy) arasında değişen dozlar vermek üzere 6-MV X-ışınları kullanılarak tasarlamışlar ve planları doz-hacim parametreleri açısından karşılaştırmışlardır (16). Tüm hastalarda YART planlarını AP-PA ile karşılaştırdıklarında, YART tekniğinin ortalama akciğer dozunun, yaklaşık %12 oranında azalttığını, ayrıca planlama hedef hacim kapsamı açısından daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır. Yapmış oldukları çalışmalarında büyük

tedavi hacimlerinin RT' si için YART tekniğinin uygun olduğunu ancak doz uygulamasındaki iyileştirmelerin uzun vadeli morbiditeyi ve hastalık kontrolünü etkileyip etkilemediğini belirlemek için ek takibin gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışmada bu çalışmay ile benzer sonuçlar göstermektedir.

Akkaş ve ark. yapmış oldukları çalışmalarında erken evre HL tanılı bilateral boyun ve mediasten yerleşimli hastalara 3D CRT ile volumetric modulated arc therapy (VMAT) ve butterfly-VMAT tekniklerini dozimetrik olarak karşılaştırmışlardır (20). Karşılaştırmalar sonucunda bilateral akciğer için ortalama dozlarda fark olmadığını ancak akciğer V<sub>5</sub> değerlerinin ikili karşılaştırmalarda butterfly-VMAT planlamada, VMAT planlamaya göre istatistiksel olarak anlamlı düşük olduğu sonucuna varmışlardır (p: 0,012). Ayrıca sağ ve sol parotis ortalamaları, V<sub>5</sub>, V<sub>20</sub>, V<sub>25</sub> ve V<sub>30</sub> değerleri butterfly-VMAT tekniğinde diğer tekniklere göre anlamlı olarak daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışmada da sağ ve sol parotis D<sub>ort</sub> ve V<sub>20</sub> değerleri B-YART tekniğinde, R-YART ve FinF tekniklerine göre anlamlı derece düşük bulundu ve istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi (p=0.001).

Fiandra ve ark. yapmış oldukları çalışmalarında erken evre mediastinal HL'den etkilenen ve kemoterapi sonrası 30 Gy INRT (Involved Nodes Radiation Therapy) ile tedavi edilen toplam 10 hasta seçmişlerdir (21). Beş farklı tedavi tekniğini karşılaştırmışlardır (3D-CRT, VMAT (tek ark), B-VMAT ("butterfly", çoklu ark), Helikal Tomoterapi (HT) ve Tomoterapi). Tiroid bezi ve kalp/koroner için, HT, VMAT ve B-VMAT teknikleri, 3D-CRT ve TD'ye kıyasla hem D<sub>mean</sub> hem de orta-yüksek doz alan hacimler açısından daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. B-VMAT planlarının hedef etrafında daha yüksek konformasyon ve daha düşük dozlarla maruz kalan kritik organlar arasında en dengeli planlama oldukları sonucuna ulaşmışlardır.

Lloyd ve ark. 11 hasta için akciğer, kalp ve memenin aldığı dozlarla odaklanarak AP/PA, YART ve Volumetrik Ark (VA) kullanarak mediastinal HL planlarını karşılaştırmışlardır (22). Akciğer V<sub>5</sub> değerlerinin AP/PA planlarında YART ve VA planlarına kıyasla yaklaşık %30 daha düşük olduğunu, ayrıca V<sub>20</sub> değerinin ise AP/PA planlarında YART veya VA'dan %25 daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Yapmış olduğumuz çalışmada da benzer şekilde V<sub>5</sub> gibi düşük doz alan hacim 3D CRT planlarında, V<sub>20</sub> ve V<sub>30</sub> gibi yüksek doz alan hacim B-YART ve R-YART planlarında anlamlı olarak düşük bulundu.

### 4. Sonuç

Bilateral boyun ve mediasten tutulumu olan HL hastalar için akut ve geç dönem yan etkilerini değerlendirmede doz volüm sınırlamaları dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada YART teknikleri FinF tekniğine kıyasla üstün hedef kapsamı ve kritik organ koruması sağlamıştır. Tedavi planlarında optimum ışın seçimi her bir hasta için risk altındaki organların anatomisine ve öncelik sırasına göre bireysel olarak seçilmelidir.

## Kaynakça

- Engert, A., Plutschow, A. & Eich HT et al. (2010). Reduced treatment intensity in patients with early-stage Hodgkin's lymphoma. *N Engl J Med*, 363: 640–52.
- Eich, S., Diehl, V. & Gorgen, H. et al. (2010). Intensified chemotherapy and dose-reduced involved-field radiotherapy in patients with early unfavorable Hodgkin's lymphoma: Final analysis of the German Hodgkin Study Group HD11 trial. *J Clin Oncol*, 28: 4184–4207.
- Girinsky, T., Van der Maazen R., & Specht L. et al. (2006). Involved-node radiotherapy (INRT) in patients with early Hodgkin lymphoma: concepts and guidelines. *Radiation Oncol*, 79: 270–277.
- Bonadonna, G., Bonfante V. & Viviani, S. et al. (2004). ABVD plus subtotal nodal versus involved-field radiotherapy in early-stage Hodgkin's disease: long-term results. *J Clin Oncol*, 22:2835–2841.
- Noordijk, EM., Carde, P. & Dupouy, N. et al. (2006). Combined-modality therapy for clinical stage I or II Hodgkin's lymphoma: long-term results of the European organisation for research and treatment of cancer H7 randomized controlled trials. *J Clin Oncol*, 24:3128–3135.
- Fiandra, C., Filippi, A.R. & Catuzzo, P. et al. (2012). Different IMRT solutions vs. 3D-Conformal Radiotherapy in early stage Hodgkin's lymphoma: dosimetric comparison and clinical considerations. *Radiation Oncology*, 7:186.
- Maraldo, M.V. & Specht, L. (2014) A decade of comparative dose planning studies for early-stage Hodgkin lymphoma: What can we learn? *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 90: 1126–35.
- Hodgson, D.C., Gilbert, E.S. & Dores, G.M. et al. (2007). Long term solid cancer risk among 5-year survivors of Hodgkin's lymphoma. *J Clin Oncol*, 25:1489–1497.
- Ng, A.K., Bernardo, M.V. & Weller, E. et al. (2002). Second malignancy after Hodgkin disease treated with radiation therapy with or without chemotherapy: Long term risks and risk factors. *Blood*, 100:1989–1996.
- Swerdlow, A.J., Higgins, C.D. & Smith, P. et al. (2007). Myocardial infarction mortality risk after treatment for Hodgkin disease: a collaborative British cohort study. *J Natl cancer Inst*, 99:206–214.
- Moser, E.C., Noordijk, E.M. & Van Leeuwen, F.E. et al. (2006). Long-term risk of cardiovascular disease after treatment for aggressive non-Hodgkin lymphoma. *Blood*, 107:2912–2919.
- Ferme, C., Eghbali, H. & Meerwaldt, J.H. et al. (2007). EORTC-GELA H8 Trial. Chemotherapy plus involved-field radiation in early-stage Hodgkin's disease. *N Engl J Med*, 357(19):1916–27.
- Fiandra, C., Filippi, A.R. & Catuzzo, P. et al. (2012). Different IMRT solutions vs. 3D-conformal radiotherapy in early stage Hodgkin's Lymphoma: dosimetric comparison and clinical considerations. *Radiat Oncol*, 2;7:186.
- ICRU Report 83 Prescribing, recording, and Reporting Photon Beam Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT). *J ICRU*, 2010. 10:1 106.
- Oeffinger, K.C., Mertens, A.C. & Sklar, C.A. et al. (2006). Chronic health conditions in adult survivors of childhood cancer. *New Engl J Med*, 355:1572–1582.
- Goodman, K.A., Toner, S. Hunt, M., Wu, E.J. & Yahalom, J. (2005). Intensity-modulated radiotherapy for lymphoma involving the mediastinum. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 62: 198–206.
- Sachs, R.K., Shuryak, I., Brenner, D., Fakir, H., Hlatky, L. & Hahnfeldt P. (2007). Second cancers after fractionated radiotherapy: stochastic population dynamic effects. *J Theor Biol*, 249:518–531.
- Constine, L.S., Tarbell, N. & Hudson, M.M. et al. (2008). Subsequent malignancies in children treated for Hodgkin's disease: associations with gender and radiation dose. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 72:24–33.
- Weber, D.C., Johanson, S., Peguret, N., Cozzi, L. & Olsen, D.R. (2011). Predicted risk of radiation-induced cancers after involved field and involved node radiotherapy with or without intensity modulation for early-stage Hodgkin lymphoma in female patients. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 81:490–497.
- Akkas, E.A. & Guvenc, O. (2020). Boyun ve mediasten tutulumlu Hodgkin lenfoma olgularında Butterfly VMAT tekniği avantajlı mıdır?. *Turk J Clin Lab*, 4: 274–281.
- Fiandra, C., Filippi, A.R. & Catuzzo, P. et al. (2012). Different IMRT solutions vs. 3D-Conformal Radiotherapy in early stage Hodgkin's lymphoma: dosimetric comparison and clinical considerations. *Radiation Oncology*, 7: 186.
- Lloyd, S., Aurand, A. & Wagner, H. (2014). Hodgkin Lymphoma With Bulky Mediastinal Disease: A Comparison of AP/PA, IMRT, and Volumetric Arc Plans. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 90(1): 672.



# Rutenyum Katkılı Nanotüp Kullanılarak Süperkapasitör Elektrot Üretimi

Murat Akdemir<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9235-1913), [muratakdemir@siirt.edu.tr](mailto:muratakdemir@siirt.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 14 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009731)

**ATIF/REFERENCE:** Akdemir, M. (2021). Rutenyum Katkılı Nanotüp Kullanılarak Süperkapasitör Elektrot Üretimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 326-330.

## Öz

Çeşitli enerji depolama malzemeleri arasında süperkapasitörler, enerjiyi daha hızlı depoladıkları ve aktardıkları için son zamanlarda daha çok tercih edilmektedirler. Bu çalışma kapsamında, Rutenyum katkılı karbon nanotüp kullanılarak süperkapasitör elektrot aktif malzemesi hazırlanmıştır. Daha sonra bu malzeme püskürtme yöntemi kullanılarak elektrotlara dönüştürülmüş ve bir süperkapasitör hücresi hazırlanmıştır. Elektrolit çözeltisi olarak 6 M KOH seçilmiş ve süperkapasitörün elektriksel özellikleri elektrokimyasal analiz yöntemleri kullanılarak test edilmiştir. Süperkapasitörün eşdeğer seri direnci çok düşük olduğundan kapasitörün güç aktarımının yüksek seviyelerde yapılabilmesini destekler ve malzemenin iç direncinden kaynaklı enerji kayıpları ihmal edilebilecek seviyelerdedir. 1 A/g akım yoğunluğunda elektrotların spesifik kapasitans değeri 42,24 F/g olarak hesaplanmıştır. Elektrotların kapasitesinde 100 döngü sonucunda sadece %4,1'lik bir azalma olmuştur. Elde edilen veriler ışığında hazırlanan elektrotların yüksek kapasitesi, düşük iç direnci ve yüksek kararlılığı nedeniyle enerji depolama alanında umut vaat ettiği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Nanotüp, Rutenyum, Süperkapasitör, Enerji Depolama.

## Supercapacitor Electrode Production Using Ruthenium Doped Nanotube

### Abstract

Among the various energy storage materials, supercapacitors are more preferred recently as they store and transfer energy faster. In this study, supercapacitor electrode active material was prepared using Ruthenium-doped carbon nanotubes. Then, this material was converted into electrodes using sputtering method and a supercapacitor cell was prepared. 6 M KOH was chosen as the electrolyte solution and the electrical properties of the supercapacitor were tested using electrochemical analysis methods. Since the equivalent series resistance of the supercapacitor is very low, it supports the power transfer of the capacitor at high levels, and the energy losses due to the internal resistance of the material are at negligible levels. The specific capacitance value of the electrodes was calculated as 42.24 F/g at a current density of 1 A/g. There was only a 4.1% reduction in the capacity of the electrodes after 100 cycles. It is thought that the electrodes prepared in the light of the obtained data are promising in the field of energy storage due to their high capacity, low internal resistance and high stability.

**Keywords:** Nanotube, Ruthenium, Supercapacitor, Energy Storage.

\* Sorumlu Yazar: [muratakdemir@siirt.edu.tr](mailto:muratakdemir@siirt.edu.tr)



## 1. Giriş

Enerji toplumların gelişiminde hayati bir öneme sahiptir. Fosil yakıtların yanması sonucu elde edilen enerji dünya ekonomisini ve çevreyi ciddi şekilde etkilemektedir. Bu da bilim adamlarını çevre dostu alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Alternatif enerji kaynakları ile üretim gün içinde ve hatta aylara göre değişiklik gösterebildiği için enerji depolama büyük önem kazanmakta ve çevre dostu, yüksek performanslı yenilenebilir enerji depolama cihazlarına olan talep sürekli artmaktadır. Elektrokimyasal enerji, temiz enerjinin kaçınılmaz bir parçasıdır. Piller, süperkapasitörler ve yakıt hücreleri, elektrokimyasal enerji dönüşümü prensibi ile çalışan geleneksel olmayan enerji cihazlarıdır (Sharma et al., 2019; Zhang ve Zhao, 2009). Elektrokimyasal enerji dönüşümü prensibi ile çalışan enerji depolama malzemeleri arasında süperkapasitörler, enerjiji daha hızlı depoladıkları ve aktardıkları için daha çok tercih edilmiştir. Enerjiji statik olarak depolayan süper kapasitörler, kapasitörlerden çok daha fazla enerji depolayabilirken, bu enerjiji elektrokimyasal pillerden yaklaşık on kat daha hızlı aktarabilirler (Pandolfo ve Hollenkamp, 2006).

Süperkapasitörler, elektrik enerjisini ya elektrot yüzeyindeki elektrolit iyonlarının oluşturduğu elektrokimyasal çift katmanda (EDL) ya da elektrot malzemelerinin yüzey bölgelerini içeren redoks reaksiyonları ile faradaik olarak depolar (Conway, 2013; Simon ve Gogotsi, 2010). EDLC mekanizmasında, elektrot ve elektrolitin sınır yüzeyinde çift bir yük tabakası oluşurken, redoks mekanizmada aktif malzeme bir faradaik redoks reaksiyonuna girer. Süper kapasitörler, yüksek güç yoğunluğu, mükemmel hız kapasitesi, uzun süreli ve kararlı çevrim ömrü gibi faydalı özelliklerinden dolayı elektronik iletişim, havacılık, elektrikli ulaşım vb. göze çarpan enerji depolama platformlarında kullanılmaktadırlar (Mohanty et al., 2021). EDL kapasitörler (EDLC'ler) üstün güç yoğunluğunu yüksek elektriksel iletkenlik ve yüksek yüzey alanının birleşiminden aldığından, sağlam ve verimli cihazlar için bu özelliklerin her ikisine de sahip malzemeler gereklidir (Sheberla et al., 2017). Bu tür malzemeler nadirdir. Şimdiye kadar EDLC'lerde kullanılan aktif malzemeler, aktifleştirilmiş, şablonlanmış ve karbürden türetilmiş karbonlar, karbon nanotüpler ve yakın zamanda grafen türü karbonlardır (Gu ve Yushin, 2014; Xu et al., 2014; Y. Zhu et al., 2011). Karbon bazlı malzemeler bol, düşük maliyetli, üretimi kolay, toksik olmayan, daha yüksek spesifik yüzey alanine sahip, iyi mekanik özellik, iyi elektronik iletkenlik, yüksek kimyasal kararlılık ve geniş çalışma sıcaklığı aralığı gibi birçok avantajlara sahiptirler (Pandolfo ve Hollenkamp, 2006; H. Wang ve Cui, 2019; Y. Wang et al., 2021). Son zamanlarda süperkapasitörler üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Kerli (2017) tarafından yapılan çalışmada, indirgenmiş grafen oksit/çinko oksit kompozit malzemesi elektrot materyali olarak hidrotermal yöntem kullanılarak üretilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda elektrotların spesifik kapasitans değeri 24,15 F/g olarak bulunmuştur (KERLİ, 2017). Yumak (2019) tarafından yapılan başka bir çalışmada fıstık kabuklarından piroliz ve kimyasal aktivasyon teknikleri kullanılarak aktif karbon üretilmiş ve bu aktif karbonun yüzeyinde MnO<sub>2</sub> sentezlenmiştir. Elektrotların spesifik kapasitans değeri 68 F/g olarak hesaplanmıştır (Yumak, 2019).

Karbon nanotüpler (CNT'ler), iyi mekanik mukavemetleri, yüksek spesifik yüzey alanları ve önemli elektrik iletkenlikleri

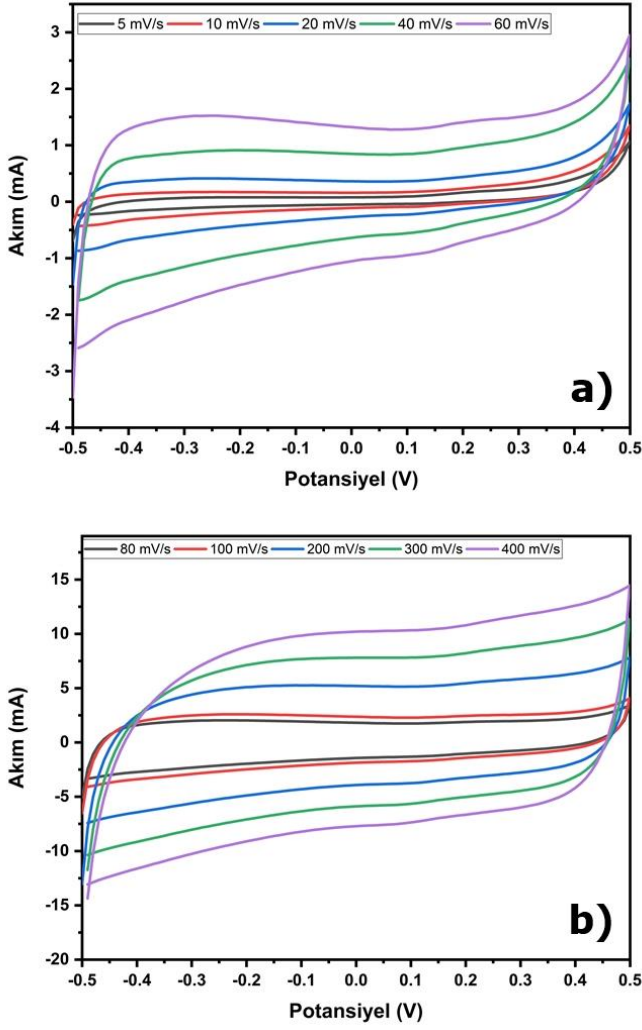
nedeniyle elektrikli çift katmanlı kapasitör elektrotlarının tasarımında tipik ve yaygın olarak kullanılan karbon malzemelerdir (Ma et al., 2021; Niu et al., 2020). Daha da önemlisi, CNT'ler elektron ve iyon taşıma yollarını kısaltmak için birbirine bağlı iletken gözenekli ağ yapıları oluşturabilir (Cao et al., 2018; Li et al., 2016). Hidrojen enerjisi üretiminde Rutenyum metali aktif karbonlara katkılama yapılarak malzemenin etkinliğini artırmak için kullanılmaktadır (Avci Hansu et al., 2021). Bu çalışma kapsamında, diğer çalışmalardan farklı olarak ilk kez Rutenyum katkılı nanotüp kullanılarak iki elektrotlu bir süper kapasitör hücresi hazırlanmıştır. Süperkapasitörün kapasitansı, empedansı ve kararlılığı elektrokimyasal yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında kullanılacak 0,05 g karbon nanotüp üzerine 10 ml saf su ilave edildi. Miknatis yardımıyla mikserde karışmaya bırakıldı. Daha sonra bu karışıma karbon nanotüpün ağırlıkça %3 oranında Rutenyum metali ilave edildi. Elde edilen karışım 40 dakika ultrasonik banyoda ve 80 dakika mikserde bekletildi. Karıştırıldıktan sonra, metal içeren çözeltiye sodyum borhidrür (NaBH<sub>4</sub>) çözeltisi ilave edildi. Yine su banyosunda 20 dakika mikserde 40 dakika bekletildi. Son olarak sentezlenen malzeme filtre kağıdı yardımıyla süzülde ve filtre kağıdı üzerindeki çökelti vakumlu bir fırında 85 °C'de 12 saat kurumaya bırakıldı. Püskürtme makinasında rahat sıkılabilmesi kurutulan malzeme bir havan kullanılarak ince bir şekilde öğütüldü. Malzemenin akım toplayıcı üzerine iyi tutunması için malzemeye CNT'nin ağırlıkça %10 oranında bağlayıcı olarak poliviniliden florür (PVDF) eklendi. Elde edilen karışım 10 dakika ultrasonik banyoda tutulduktan sonra manyetik karıştırıcıda 80 dakika karıştırıldı. Bulamaç daha sonra akım toplayıcı olarak kullanılacak nikel köpüğün üzerine püskürtüldü. PVDF çözücüsü olarak kullanılan N-Metil-2-Pirrolidon'ü uzaklaştırmak için nikel köpük etüvde 80 °C'de 24 saat bekletilmiştir. Anot ve katot hücreleri, fırından çıkarılan nikel köpüğün 15 mm'lik eşit dairesel çaplarda kesilmesiyle hazırlanmıştır. 18 mm'lik kağıt ayırıcı, anot, katot ve 6 M KOH elektrolit çözeltisi, iki elektrotlu hücre konfigürasyonunu oluşturmak için sızdırmaz bir alüminyum test aparatına yerleştirildi. Hücrenin elektrokimyasal karakterizasyonu, galvanostatik yüklü deşarj (GCD), döngüsel voltametri (CV) ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) teknikleri kullanılarak oda sıcaklığında gerçekleştirildi.

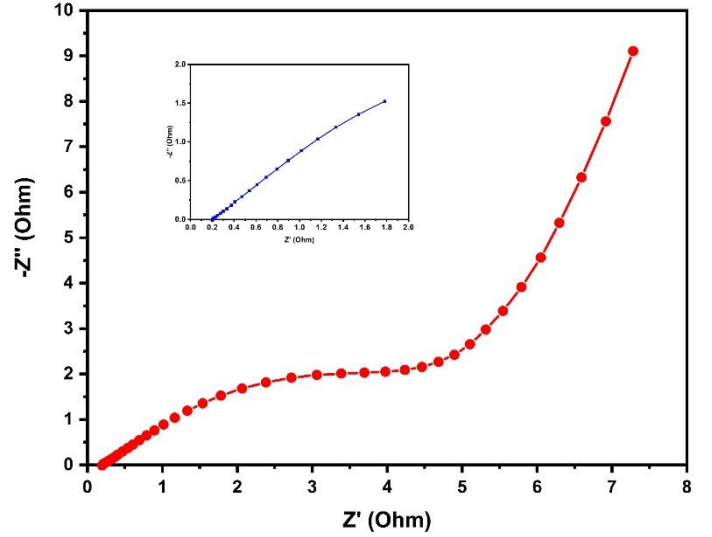
## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Rutenyum katkılı CNT kullanılarak 2 elektrotlu bir süperkapasitör hücresi hazırlanmıştır. Süperkapasitörün enerji depolama kapasitesi, kararlılığı ve enerji-güç yoğunluğu elektrokimyasal karakterizasyon sonucu elde edilen CV eğrileri, empedans eğrileri ve şarj-deşarj eğrileri kullanılarak belirlenmiştir. Şekil 1'de kapasitöre ait 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300 ve 400 mV/s tarama hızlarındaki CV eğrileri verilmiştir. Kapasitörün CV eğrileri ideal eğrilere benzemektedir. Tarama hızı arttıkça eğriler dikdörtgen yapıya yani ideal süperkapasitör CV eğrilerine daha çok benzemektedir. Rutenyum katkılama olmadan dolayı CV eğrilerinde küçük şiddetli tepeler görülmektedir. Tarama hızları düştükçe CV eğrileri uç noktalarında sarpmalar oluşmaktadır.

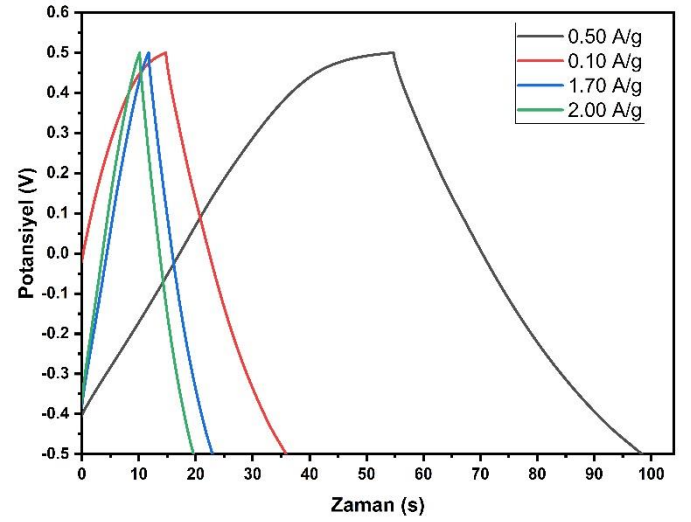


Şekil 1. Süperkapasitör hücresine ait farklı tarama hızlarındaki CV eğrileri

Elektrotların EIS analizi, 1 Hz ile 100 kHz frekans aralığında 10 mV genlik ile gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir. Süperkapasitörün eşdeğer seri direnci  $R_s$  yaklaşık  $0,2 \Omega$  olarak ölçülmüştür.  $R_s$  direnci çok düşüktür ve bu düşük direnç değeri süperkapasitörün güç aktarımının yüksek seviyelerde yapılabilmesini destekler (Cheng et al., 2011; Yan et al., 2014). Orta frekans aralığındaki yarım daire çapı, arayüzey yük transfer direncini ( $R_{ct}$ ) değerlendirmek için kullanılır. Üretilen super kapasitörün  $R_{ct}$  direnci  $3 \Omega$  olarak hesaplanmıştır. Düşük frekanslarda, empedans eğrilerinin eğimi, elektrolit ile elektrot malzemesi arasındaki difüzyon direncinin olduğunu gösterir. Elektrotlar için eğim  $76^\circ$  olarak hesaplanmıştır ve bu değer elektrot malzemesinin elektrolit ile iyi bir etkileşime geçtiğini ve difüzyon direncinin düşük olduğunu göstermektedir (Gamby et al., 2001; X. Zhu et al., 2018).



Şekil 2. Hazırlanan süperkapasitöre ait empedans eğrisi



Şekil 3. Süperkapasitör hücresine ait farklı akım yoğunluklarındaki şarj-deşarj eğrileri

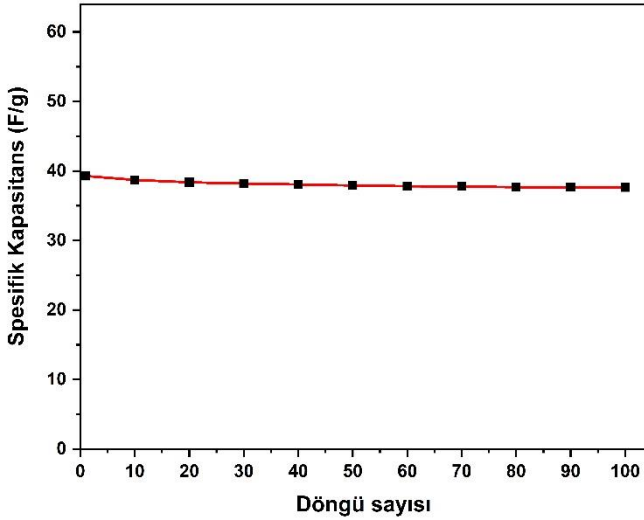
Hazırlanan elektrotların şarj-deşarj eğrileri galvanostatik şarj deşarj tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Hücreye ait farklı akım yoğunluklarındaki şarj-deşarj eğrileri Şekil 3'de verilmiştir. Şarj-deşarj eğrileri ideal süperkapasitör eğrileriyle mükemmel bir benzerlik göstermektedir. Eğrilerin mükemmelliği, elektrot yüzeyleri ile elektrolit sıvısı arasındaki iyon değişiminin hızlı ve tersinir bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Deşarj işleminin başlangıcında  $0,50 \text{ A/g}$ 'da yaklaşık  $4 \text{ mV}$ ;  $1,00 \text{ A/g}$ 'da  $6 \text{ mV}$ ;  $1,70 \text{ A/g}$ 'da  $10 \text{ mV}$  ve  $2,00 \text{ A/g}$ 'da yaklaşık  $12 \text{ mV}$  IR düşüşü gözlemlenmiştir. IR düşüşleri ihmal edilecek seviyelerde düşüktür ve bu değerler hazırlanan elektrot malzemelerinin iç direncinin düşük olduğunu kanıtlamaktadır (Song et al., 2019). Elektrotların spesifik kapasitansı şarj-deşarj eğrileri kullanılarak Denklem 1 aracılığıyla hesaplanmıştır:

$$C = \frac{2 \cdot I \cdot \Delta t}{m \cdot \Delta V} \quad (1)$$

Denklemden verilen  $m(\text{g})$ , bir elektrot üzerindeki aktif madde miktarını;  $\Delta t(\text{s})$ , deşarj süresini;  $I(\text{A})$ , akımı;  $\Delta V(\text{V})$ , uygulanan gerilim aralığını belirtmektedir. Kapasitans değerleri  $0,50 \text{ A/g}$  için  $43,64 \text{ F/g}$ ;  $1,00 \text{ A/g}$  için  $42,24 \text{ F/g}$ ;  $1,70 \text{ A/g}$  için  $38,11 \text{ F/g}$ , ve  $2,00 \text{ A/g}$  için  $37,72 \text{ F/g}$  olarak hesaplanmıştır. Elektrotların

kararlılığını belirlemek için 1 A/g akım yoğunluğunda 100 döngülük şarj-deşarj analizi yapılmıştır ve sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. 100 döngü sonucunda elektrotlar ilk kapasitelerinin %95,9'unu halen sürdürmektedirler. Bu da üretilen elektrot malzemelerinin kararlı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Elektrotların kapasitans değerleri esas olarak kullanılan biyokütle malzemesinin tipine, aktivasyon maddesine, biyokütlenin yakıldığı sıcaklığa, katkı maddesine, hazırlama yöntemine ve kullanılan elektrolit tipine bağlıdır. Hazırlanan elektrotların kapasitans değeri, literatürde pamuk sapı (Chen et al., 2013), çay atığı (Özarlan et al., 2021), bambu (Farma et al., 2021) pirinç kabuğu (W. Zhang et al., 2017), Spirulina platensis (Elma Karakaş et al., 2021), Microcystis aeruginosa (Inal et al., 2021), limon kabuğu (Mehare et al., 2021), kahve telvesi atığı (Akdemir et al., 2021), greylift kabuğu (Fu et al., 2018), nilüfer kökü (Y. Zhang et al., 2017) ve ceviz kabuğu (Lan et al., 2020) kullanılarak elde edilen aktif karbonlar kullanılarak hazırlanan elektrotların kapasitans değerlerine yakın değerler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında Rutenyum katkılı CNT kullanılarak hazırlanan elektrotların iyi bir enerji depolama kapasitesine ve kararlı bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Süperkapasitör hücresine ait 100 döngülük şarj-deşarj sonrası kapasitans azalması

## 4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, Rutenyum katkılı karbon nanotüp kullanılarak süperkapasitör elektrot aktif malzemesi hazırlanmıştır. Daha sonra bu malzeme püskürtme yöntemi kullanılarak elektrotlara dönüştürülmüş ve bir süperkapasitör hücresi hazırlanmıştır. Elektrolit çözeltisi olarak 6 M KOH seçilmiş ve süperkapasitörün elektriksel özellikleri elektrokimyasal analiz yöntemleri kullanılarak test edilmiştir. Süperkapasitörün eşdeğer seri direnci çok düşük olduğundan kapasitörün güç aktarımının yüksek seviyelerde yapılabilmesini destekler ve malzemenin iç direncinden kaynaklı enerji kayıpları ihmal edilebilecek seviyelerdedir. 1 A/g akım yoğunluğunda elektrotların spesifik kapasitans değeri 42,24 F/g olarak hesaplanmıştır. Elektrotların kapasitesinde 100 döngü sonucunda sadece %4,1'lik bir azalma olmuştur. Elde edilen veriler ışığında hazırlanan elektrotların yüksek kapasitesi, düşük iç direnci ve yüksek kararlılığı nedeniyle enerji depolama alanında umut vaat ettiği düşünülmektedir. Ayrıca farklı aktivasyon yöntemleri ve

farklı yakma sıcaklıkları kullanılarak daha büyük kapasiteli elektrotların geliştirilebileceği düşünülmektedir.

## 5. Teşekkür

Siirt Üniversitesi Biyoteknoloji Laboratuvarına değerli katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Akdemir, M., Avci Hansu, T., Caglar, A., Kaya, M., & Demir Kivrak, H. (2021). Ruthenium modified defatted spent coffee catalysts for supercapacitor and methanolysis application. *Energy Storage*, 3(4), e243. doi:<https://doi.org/10.1002/est2.243>
- Avci Hansu, T., Caglar, A., Demir Kivrak, H., & Sahin, O. (2021). Structure of ruthenium nanocatalysts of bismuth, investigation of its effect on hydrolysis performance and kinetic studies. *Energy Storage*, e267.
- Cao, X., He, J., Li, H., Kang, L., He, X., Sun, J., . . . Liu, Z. H. (2018). CoNi2S4 nanoparticle/carbon nanotube sponge cathode with ultrahigh capacitance for highly compressible asymmetric supercapacitor. *Small*, 14(27), 1800998.
- Chen, M., Kang, X., Wumaier, T., Dou, J., Gao, B., Han, Y., . . . Zhang, L. (2013). Preparation of activated carbon from cotton stalk and its application in supercapacitor. *Journal of solid state electrochemistry*, 17(4), 1005-1012.
- Cheng, Q., Tang, J., Ma, J., Zhang, H., Shinya, N., & Qin, L.-C. (2011). Graphene and nanostructured MnO<sub>2</sub> composite electrodes for supercapacitors. *Carbon*, 49(9), 2917-2925.
- Conway, B. E. (2013). *Electrochemical supercapacitors: scientific fundamentals and technological applications*: Springer Science & Business Media.
- Elma Karakaş, D., Akdemir, M., Atabani, A. E., & Kaya, M. (2021). A dual functional material: Spirulina Platensis waste-supported Pd-Co catalyst as a novel promising supercapacitor electrode. *Fuel*, 304, 121334. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121334>
- Farma, R., Putri, A., Taer, E., Awitdrus, A., & Apriwandi, A. (2021). Synthesis of highly porous activated carbon nanofibers derived from bamboo waste materials for application in supercapacitor. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(6), 7681-7691.
- Fu, G., Li, Q., Ye, J., Han, J., Wang, J., Zhai, L., & Zhu, Y. (2018). Hierarchical porous carbon with high nitrogen content derived from plant waste (pomelo peel) for supercapacitor. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(9), 7707-7717.
- Gamby, J., Taberna, P., Simon, P., Fauvarque, J., & Chesneau, M. (2001). Studies and characterisations of various activated carbons used for carbon/carbon supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 101(1), 109-116.
- Gu, W., & Yushin, G. (2014). Review of nanostructured carbon materials for electrochemical capacitor applications: advantages and limitations of activated carbon, carbide-derived carbon, zeolite-templated carbon, carbon aerogels, carbon nanotubes, onion-like carbon, and graphene. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 3(5), 424-473.
- Inal, I. I. G., Akdemir, M., & Kaya, M. (2021). Microcystis aeruginosa supported-Mn catalyst as a new promising supercapacitor electrode: A dual functional material.



- International Journal of Hydrogen Energy*, 46, 21534-21541.
- KERLİ, S. (2017). İNDİRGENMİŞ GRAFEN OKSİT-ÇİNKO OKSİT-TİTANYUM DİOKSİT KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE UYGULAMASI. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 220-225.
- Lan, D., Chen, M., Liu, Y., Liang, Q., Tu, W., Chen, Y., . . . Qiu, F. (2020). Preparation and characterization of high value-added activated carbon derived from biowaste walnut shell by KOH activation for supercapacitor electrode. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(21), 18541-18553.
- Li, D., Gong, Y., & Pan, C. (2016). Facile synthesis of hybrid CNTs/NiCo<sub>2</sub>S<sub>4</sub> composite for high performance supercapacitors. *Scientific reports*, 6(1), 1-7.
- Ma, Z., Zheng, R., Liu, Y., Ying, Y., & Shi, W. (2021). Carbon nanotubes interpenetrating MOFs-derived Co-Ni-S composite spheres with interconnected architecture for high performance hybrid supercapacitor. *Journal of Colloid and Interface Science*, 602, 627-635. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.06.027>
- Mehare, M., Deshmukh, A., & Dhoble, S. (2021). Bio-waste lemon peel derived carbon based electrode in perspective of supercapacitor. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(10), 14057-14071.
- Mohanty, A., Jaihindh, D., Fu, Y.-P., Senanayak, S. P., Mende, L. S., & Ramadoss, A. (2021). An extensive review on three dimension architectural Metal-Organic Frameworks towards supercapacitor application. *Journal of Power Sources*, 488, 229444.
- Niu, H., Liu, Y., Mao, B., Xin, N., Jia, H., & Shi, W. (2020). In-situ embedding MOFs-derived copper sulfide polyhedrons in carbon nanotube networks for hybrid supercapacitor with superior energy density. *Electrochimica Acta*, 329, 135130. doi:<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.135130>
- Özarslan, S., Raşit Atelge, M., Kaya, M., & Ünalın, S. (2021). A Novel Tea factory waste metal-free catalyst as promising supercapacitor electrode for hydrogen production and energy storage: A dual functional material. *Fuel*, 305, 121578. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121578>
- Pandolfo, A. G., & Hollenkamp, A. F. (2006). Carbon properties and their role in supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 157(1), 11-27. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.02.065>
- Sharma, K., Arora, A., & Tripathi, S. K. (2019). Review of supercapacitors: Materials and devices. *Journal of Energy Storage*, 21, 801-825.
- Sheberla, D., Bachman, J. C., Elias, J. S., Sun, C.-J., Shao-Horn, Y., & Dincă, M. (2017). Conductive MOF electrodes for stable supercapacitors with high areal capacitance. *Nature materials*, 16(2), 220-224.
- Simon, P., & Gogotsi, Y. (2010). Materials for electrochemical capacitors. *Nanoscience and technology: a collection of reviews from Nature journals*, 320-329.
- Song, X., Ma, X., Li, Y., Ding, L., & Jiang, R. (2019). Tea waste derived microporous active carbon with enhanced double-layer supercapacitor behaviors. *Applied Surface Science*, 487, 189-197.
- Wang, H., & Cui, Y. (2019). Nanodiamonds for energy. *Carbon Energy*, 1(1), 13-18.
- Wang, Y., Zhang, L., Hou, H., Xu, W., Duan, G., He, S., . . . Jiang, S. (2021). Recent progress in carbon-based materials for supercapacitor electrodes: a review. *Journal of Materials Science*, 56(1), 173-200.
- Xu, Y., Lin, Z., Zhong, X., Huang, X., Weiss, N. O., Huang, Y., & Duan, X. (2014). Holey graphene frameworks for highly efficient capacitive energy storage. *Nature communications*, 5(1), 1-8.
- Yan, X., Yu, Y., & Yang, X. (2014). Effects of electrolytes on the capacitive behavior of nitrogen/phosphorus co-doped nonporous carbon nanofibers: an insight into the role of phosphorus groups. *RSC Advances*, 4(48), 24986-24990.
- Yumak, T. (2019). Electrochemical Performance of Fabricated Supercapacitors Using MnO<sub>2</sub>/Activated Carbon Electrodes. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 47(1), 115-122.
- Zhang, L. L., & Zhao, X. (2009). Carbon-based materials as supercapacitor electrodes. *Chemical Society Reviews*, 38(9), 2520-2531.
- Zhang, W., Lin, N., Liu, D., Xu, J., Sha, J., Yin, J., . . . Lin, H. (2017). Direct carbonization of rice husk to prepare porous carbon for supercapacitor applications. *Energy*, 128, 618-625.
- Zhang, Y., Liu, S., Zheng, X., Wang, X., Xu, Y., Tang, H., . . . Luo, J. (2017). Biomass organs control the porosity of their pyrolyzed carbon. *Advanced functional materials*, 27(3), 1604687.
- Zhu, X., Yu, S., Xu, K., Zhang, Y., Zhang, L., Lou, G., . . . Shen, Z. (2018). Sustainable activated carbons from dead ginkgo leaves for supercapacitor electrode active materials. *Chemical Engineering Science*, 181, 36-45.
- Zhu, Y., Murali, S., Stoller, M. D., Ganesh, K., Cai, W., Ferreira, P. J., . . . Thommes, M. (2011). Carbon-based supercapacitors produced by activation of graphene. *science*, 332(6037), 1537-1541.





# Investigation of Toxin-Producing and Antibiotic-Resistant *Bacillus cereus* in Spices Used in the Production of Sucuk

Ece Çetin<sup>1</sup>, Görkem Yaman<sup>2</sup>, Artun Yıbar<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup> Tekirdag Namik Kemal University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Food Hygiene and Technology, Tekirdag, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8783-5507), [ecetin@nku.edu.tr](mailto:ecetin@nku.edu.tr)

<sup>2</sup> Düzen Laboratories Group, Mecidiyeköy Branch, Department of Microbiology and Tuberculosis, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5278-0174), [gyaman@hotmail.com](mailto:gyaman@hotmail.com)

<sup>3</sup> Bursa Uludag University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Food Hygiene and Technology, Bursa, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9510-5734), [artunyibar@uludag.edu.tr](mailto:artunyibar@uludag.edu.tr)

(First received 17 October 2021 and in final form 6 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010007)

**ATIF/REFERENCE:** Cetin, E., Yaman, G. & Yıbar, A. (2021). Investigation of Toxin-Producing and Antibiotic-Resistant *Bacillus cereus* in Spices Used in the Production of Sucuk. *European Journal of Science and Technology*, (31), 331-340.

## Abstract

In this study, a total of 100 samples of seven types of spices were investigated to determine the presence of toxin-producing and multiple antibiotic-resistant *Bacillus cereus* and other food-borne microorganisms. The spices tested included 18 samples of ground black pepper (*Piper nigrum*), 17 samples of red pepper (*Capsicum frutescens*), 12 samples of ground red pepper (*Capsicum frutescens*), 20 samples of cummin (*Cuminum cyminum*), 16 samples of pimento (*Pimenta dioica*), nine samples of garlic powder (*Allium sativum*) and eight samples of sucuk spice mixes that were obtained from various retail shops and sucuk production units in the Bursa province between January and December 2014. These spices are used to prepare sucuk because of their flavouring and seasoning properties. The samples were analysed for *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, coagulase-positive *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., yeast, moulds and coliforms. For the identification of *B. cereus*, Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry (MALDI-TOF-MS, Germany) was used. The analysis showed that all samples had coliform, yeast and mould and *B. cereus* maximum and minimum counts between  $<10$  and  $1.1 \times 10^5$  cfu/g,  $1 \times 10^2$  and  $9.3 \times 10^4$  cfu/g, and  $1 \times 10^2$  and  $4.8 \times 10^4$  cfu/g, respectively. Furthermore, coagulase-positive *S. aureus* was identified in five samples, *E. coli* was identified in two samples, and *Salmonella* spp. was identified in none. A total of 39 (92.8%) *B. cereus* isolates were resistant to two or more antibiotic agents. In addition, 31 (73.8%) *B. cereus* isolates tested positive for production of both non-haemolytic enterotoxin (NHE) and haemolysin BL (HBL) enterotoxins. These results show that some spices contain harmful microorganisms. To reduce microbial counts and to improve poor microbiological quality in spices, hygiene programmes must be corrected in the pre- and post-harvesting period.

**Keywords:** Spices, Sucuk, *Bacillus cereus*, Multiple antibiotic resistance, Toxin producing, MALDI-TOF.

## Sucuk Üretiminde Kullanılan Baharatlarda Toksin Üreten ve Antibiyotiğe Dirençli *Bacillus cereus*'un Araştırılması

### Öz

Bu çalışmada, toksin üreten ve çoklu antibiyotiklere dirençli *Bacillus cereus* ve diğer gıda kaynaklı mikroorganizmaların varlığını belirlemek için yedi çeşit baharattan toplam 100 numune araştırılmıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda; Ocak ve Aralık 2014 tarihleri arasında Bursa ilinde, çeşitli perakende satış mağazaları ve sucuk üretim ünitelerinden elde edilen 18 kara biber örneği (*Piper nigrum*), 17 kırmızı pul biber örneği (*Capsicum frutescens*), 12 toz kırmızı biber örneği (*Capsicum frutescens*), 20 kimyon numunesi (*Cuminum cyminum*), 16 yenibahar örneği (*Pimenta dioica*), dokuz sarımsak tozu (*Allium sativum*) ve sekiz sucuk baharatı karışımları örnekleri analiz edilmiştir. Bu baharatlar, aromaları ve baharat özelliklerinden dolayı sucuk hazırlamak için kullanılmaktadır. Örnekler, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, koagülaz pozitif *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., Maya-küf ve koliformlar yönünden analiz edilmiştir. *Bacillus cereus*'un tanımlanmasında Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry (MALDI-TOF-MS, Germany) kullanıldı. Analizler, tüm örneklerin koliform, maya ve küf ve *B. cereus* en yüksek ve en düşük sayılarının sırasıyla  $<10$  and  $1.1 \times 10^5$  cfu/g,  $1 \times 10^2$  and  $9.3 \times 10^4$  cfu/g, and  $1 \times 10^2$  and  $4.8 \times 10^4$  cfu/g arasında olduğunu gösterdi. Ayrıca, beş örnekte koagülaz pozitif *S. aureus*, iki örnekte *E. coli* belirlenirken, hiçbir örnekte *Salmonella* spp.

\* Corresponding Author: [artunyibar@uludag.edu.tr](mailto:artunyibar@uludag.edu.tr)

varlığını tespit edilemedi. Toplam 39 (% 92.8) *B. cereus* izolatının iki veya daha fazla antibiyotik ajana dirençli olduğu belirlendi. Ek olarak, *B. cereus* izolatlarının 31 (% 73.8) adeti non-hemolitik enterotoksin (NHE) ve hemolizin BL (HBL) enterotoksinlerinin üretimi için pozitif test edildi. Bu sonuçlar, bazı baharatların zararlı mikroorganizmaları içerdiğini göstermektedir. Mikrobiyal sayımı azaltmak ve baharatlarda zayıf mikrobiyolojik kaliteyi arttırmak için hijyen programları hasat öncesi ve hasat sonrası düzeltilmelidir.

**Anahtar Kelimeler:** Baharat, Sucuk, *Bacillus cereus*, Çoklu antibiyotik direnci, Toksin üretimi, MALDI-TOF.

## 1. Introduction

Sucuk is a popular traditional meat product that is produced from minced beef meat, hard beef fat tissue, salt, nitrite and/or nitrate and various spices including cumin, garlic, black pepper, pimento, and red pepper (Pehlivanoglu et al., 2015). However, sucuk may contain microorganisms that first come in contact with the meat through exposure to air and water, through employee handling, or through the spices used in its production. These microorganisms can seriously affect the health of anyone who consume these products.

Spices are valuable products that grow in a natural environment and are commonly used in a variety of ways, including in the preparation of meat products. Spices are a key ingredient throughout the world because of the preservation, flavouring, colouring and aromatic properties they confer to meat products, particularly sucuk, salami, pastrami and meatballs (Hampikyan et al., 2009; Verluyten et al., 2004). However, the use of contaminated spices in meat products can add to the existing microflora and thus impair the quality of these products and cause serious foodborne illness (Koohy-Kamaly-Dehkordy et al., 2013; Shinagawa et al., 1988). Yeasts and moulds, coliforms, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, and the toxin-producing and spore-forming bacterium *Bacillus cereus* are the known possible contaminants of spices.

The spore-forming, toxin-producing bacterium *B. cereus* is one of the possible contaminants of spices (Eglezos, 2010). This bacterium can be found in soil and is widely distributed in the environment. *B. cereus* causes severe food poisoning, producing a diarrhoeal syndrome induced by haemolysin BL (HBL) and non-haemolytic enterotoxin (NHE) (Hansen and Hendriksen, 2001; Lund and Granum, 1996). *B. cereus* spores are heat-resistant and can germinate when cooled improperly, and the nutrients within meat support the growth of the resulting vegetative cells (Eglezos, 2010). Spices may also contain the enterotoxigenic *B. cereus*, usually at counts below  $10^3$  cfu/g but sometimes at higher levels ( $10^5$ - $10^6$  cfu/g), and food to which it is added may cause food poisoning if the product is inappropriately handled or stored (Cameron, 1998; Little et al., 2003). In the study conducted by Aksu et al. (2000), 63.44% of the spices were found to be contaminated with *B. cereus* ranging between  $10^2$  and  $3.2 \times 10^3$  cfu/g. A survey performed by Tulu et al. (2013) showed coliform counts ranging from  $3.8 \times 10^5$  to  $1.0 \times 10^6$  cfu/g in red chilli spice samples.

Although *B. cereus* has been isolated from various spices at rates ranging from 28% to 100% (Hampikyan et al., 2009; Aksu et al., 2000; Erol et al., 1999; Agaoglu et al., 1999) there have not been any studies that have investigated the enterotoxin-producing capabilities or the antibiotic resistance of *B. cereus* in spices in Turkey.

Yeast and moulds may also contaminate spices. Mould contamination is dangerous due to their production of

mycotoxins. These microorganisms have previously been isolated from various spices (Moss and Baker, 2000; Banerjee and Sarkar, 2003). Spices may be contaminated by coliforms associated with improper and inadequate hygienic practices and faecal contamination, *E. coli* in particular. The presence of *E. coli* in red pepper spice samples was reported by Parveen et al. (2014). *Salmonella* spp. is a leading cause of acute bacterial gastroenteritis, and *S. aureus* is another important foodborne pathogen. Several studies have reported the contamination of spices by both microorganisms. For instance, Banarjee and Sarker (2003) reported *Salmonella* spp. in 2.6% of spice samples. In the U.S., Julseth and Deibel (1974) found *S. aureus* in two of 12 black pepper samples.

In 2011, the Republic of Turkey Ministry of Food, Agriculture and Livestock established a maximum limit of  $10^4$  cfu/g spice of both coagulase-positive *S. aureus* and *B. cereus*. *Salmonella* spp. count should be zero in a 25 g sample.

The purpose of this study was to establish the microbiological quality of spices used in sucuk production in the Bursa province in relation to the presence of toxin-producing and antibiotic-resistant *B. cereus*. In addition, yeast and moulds, coliforms, *E. coli*, coagulase-positive *S. aureus* and *Salmonella* spp. were investigated. To our knowledge, this is the first report on the incidence of toxigenic and multiple antibiotic-resistant *B. cereus* in spices in Turkey.

## 2. Material and Method

### 2.1. Sample Collection

Between January and December 2014, a total of 100 samples of seven types of spices, including 18 samples of ground black pepper, 17 samples of red pepper, 12 samples of ground red pepper, 20 samples of cumin, 16 samples of pimento, nine samples of garlic powder and eight samples of sucuk spice mixes, were purchased from various markets, retail shops and sucuk production premises located in the Bursa province of Turkey. The samples were transported to the laboratory and analysed as soon as possible at  $<4^\circ\text{C}$ .

### 2.2. Isolation and Identification of *Salmonella* spp.

*Salmonella* spp. isolation was performed according to the ISO 6579 standard (ISO, 2002). Briefly, the sample pre-enrichment was combined with 225 ml Buffered Peptone Water (Merck, Belgium), homogenized for two min with a Seward Stomacher 80 Lab System (Seward, London, UK) and incubated at  $37^\circ\text{C}$  for 24 h. After pre-enrichment and incubation, 1 ml of the sample was transferred to Muller-Kauffmann Tetrathionate-Novobiocin Broth (Oxoid, UK), and 0.1 ml of the sample was transferred to Rappaport-Vassiliadis Medium with Soya Broth (Oxoid, UK). The inoculated broths were incubated for primary enrichment for 24 h at  $37^\circ\text{C}$  and  $41.5^\circ\text{C}$ . After incubation, the cultures were inoculated using a loop onto both Xylose Lysine Deoxycholate (Merck, Belgium) agar and Xylose Lysine Tergitol (Merck; Belgium) agar. After selective plating at  $37^\circ\text{C}$  for 24 h, potential *Salmonella* colonies were subjected to biochemical identification by API 20E (bioMerieux, France).

### 2.3. Isolation and Identification of Coliforms and *E. coli*

For coliform and *E. coli* isolation and enumeration, serial 10-fold dilutions of samples were made in saline peptone water and plated onto the relevant selective media. Total coliform was grown on Violet Red Bile (Bio life, Italy) agar using the “pour” plate technique, and plates with 30-300 colonies were used for enumeration after 24-48 hours of incubation at 37°C. After the incubation, typical colonies (red colonies with halos) were inoculated into lactose broth (Oxoid, UK) in a Durham tube for 44°C 24 h. After incubation, acid and gas formation-positive colonies were confirmed to be *E. coli* using the IMVC series of tests (indole, methyl red, Voges-Proskauer and citrate). Indol (+), methyl red (+), Voges-Proskauer (-) and citrate (-) indicated the presence of *E. coli* type-1.

### 2.4. Isolation and Identification of Coagulase-positive *S. aureus*

All samples were serially diluted in 9 ml of saline peptone water, and each dilution was spread on Baird Parker Agar (Oxoid, UK) plates. The plates were incubated at 37°C for 48 h. All colonies on Baird Parker with opaque halos surrounded by a clear zone were accepted as coagulase-positive *S. aureus*. From each Baird Parker Agar plate, 2 typical colonies were chosen, and a coagulase test was conducted for confirmation.

### 2.5. Isolation and Identification of Yeast and Moulds

Saline peptone water was used as a diluent for samples, and each dilution was spread on Potato Dextrose Agar (Oxoid, UK) using the spread plate method. Plates were incubated at 22°C for 3-5 days.

### 2.6. Isolation of *B. cereus*

All samples were serially diluted in 9 ml of saline peptone water, and each dilution was spread on Bacara Agar (bioMerieux, France) using the spread-plate method. Plates were incubated at 30°C for 48 h. Following incubation, plates were examined for typical colonies (pink/orange with halos), and at least one colony of each typical colony type was picked from each of the plates for identification using Matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry (MALDI-TOF-MS, Germany).

### 2.7. Identification of Presumptive *B. cereus* Colonies Using MALDI-TOF-MS

Identification of the isolates was performed using MALDI-TOF MS by the Duzen Laboratories Group in Istanbul. For this purpose, the colonies of presumptive *B. cereus* were subcultured to Tryptic Soy Agar (Oxoid, UK) and were confirmed using MALDI-TOF-MS. This technique is a promising platform for quick, flexible, and reliable identification of isolates originating from food. A portion or the whole colony on Tryptic Soy Agar (Oxoid, UK) agar was directly transferred onto a spot on the 96-spotted polished steel target plate. The spot was then covered with 1 µl of CHCA matrix solution. After air drying completely, the plate was loaded into the Bruker Microflex LT (Bruker Daltonics, Germany) instrument. The spectra were generated in linear positive ion mode with delayed extraction in a mass range of 4 to 10 kDa using a 337 nm nitrogen laser with a frequency of 60 Hz. The automated data analysis was processed with MALDI Biotyper Realtime Classification and Biotyper software version 3.1 (Bruker Daltonics). The obtained spectra were analysed using a standard pattern-matching algorithm, which compared the raw spectra with the spectra of the Bruker library using the

standard settings. The results were listed in a ranking table, expressed as log (score) values ranging from 0 to 3 as recommended by the manufacturer. Score values of >1.7 generally indicate relationships at the genus level, and values of >2.0 generally indicate relationships at the species level. The highest score was used for species identification. The Bruker library contains >80,000 spectra covering 2048 species and 385 genera. If the result was below 1.7, the colony was transferred into screw cap tubes and mixed thoroughly in 0.3 ml of double-distilled ultrapure water. Next, 0.9 ml of pure ethanol was added to the tubes, and after vortexing, they were centrifuged at 13,000 × g for 2 min. The supernatant was discarded, and the pellet was mixed thoroughly with 50 µl of 70% aqueous formic acid. After the addition of 50 µl of acetonitrile, the mixture was centrifuged at 13,000 × g for 2 min. One microliter of the microorganism extract supernatant was placed onto the polished steel and covered with 1 µl of CHCA matrix solution and loaded to the instrument. Data analysis was processed as previously described.

### 2.8. Screening of Enterotoxigenic *B. cereus*

Haemolytic enterotoxin (HBL) and non-haemolytic enterotoxin (NHE) production were assessed using the Duopath® Cereus Enterotoxins Test kit (Merck, Belgium) according to the manufacturer's instructions. Briefly, *B. cereus* isolates were suspended in 1 ml Caseinhydrolysate Glucose Yeast extract Broth (Base) (Merck, Belgium) (with 1% glucose) and incubated at 37°C for 4 h. The Caseinhydrolysate Glucose Yeast extract Broth (Base) (Merck, Belgium) preparations were cooled to room temperature; then, 150 µl was transferred to the circular sample port on the test. The results were read after 30 minutes.

### 2.9. Antibiotic Resistance Testing

Antibiotic resistance of *B. cereus* isolates was tested using Mueller-Hinton Agar (Oxoid, UK) by the Kirby-Bauer disc diffusion method (Bauer et al., 1966). The disks used (Oxoid) and antibiotic concentrations were as follows: ampicillin (AMP, 10 µg), penicillin G (10 U), tetracycline (30 µg), erythromycin (15 µg), kanamycin (30 µg), chloramphenicol (30 µg), neomycin (30 µg), oleandomycin (15 µg), cephalothin (30 µg), streptomycin (10 µg), polymyxin B (300 U), and vancomycin (30 µg). *B. cereus* ATCC 10876 was used as control strain. According to the inhibition zone measured, the isolates were classified as resistant or susceptible as recommended by Bauer et al. (1966).

## 3. Results and Discussion

In total, 100 samples consisting of seven types of spices, including 18 samples of ground black pepper, 17 samples of red pepper, 12 samples of ground red pepper, 20 samples of cumin, 16 samples of pimento, nine samples of garlic powder and eight samples of sucuk spice mixes were analysed to determine their microbiological quality. The results obtained in this study are summarized in Table 1. The results of testing for the identification and toxin-producing capability of *B. cereus* isolates are shown in Table 2. The number of resistant and susceptible *B. cereus* isolates are indicated in Table 3. In addition, multiple antibiotic resistance patterns observed among *B. cereus* isolates are given in Table 4.

This analysis revealed that the samples had coliform, yeast and mould, and *B. cereus* counts between <10 and 1.1x10<sup>5</sup> cfu/g, 1x10<sup>2</sup> and 4.4x10<sup>5</sup> cfu/g and 1x10<sup>2</sup> and 4.8x10<sup>4</sup> cfu/g, respectively. The average coliform counts of ground black pepper, red pepper, pimento, cumin, ground red pepper, garlic



powder and sucuk spice mixes were  $2.7 \times 10^3$  cfu/g (61.11%),  $9 \times 10^1$  cfu/g (5.88%),  $4.2 \times 10^3$  cfu/g (50%),  $1.7 \times 10^4$  cfu/g (55%),  $2.3 \times 10^4$  cfu/g (33.33%),  $3.7 \times 10^2$  cfu/g (22.22%) and  $2.3 \times 10^4$  cfu/g (100%), respectively. *E. coli* was identified in two sucuk spice mixes (25% of those tested). Coagulase-positive *S. aureus* was isolated in five samples (5% of those tested), and *Salmonella* spp. were found in none of them.

In the present study, yeast and mould were counted in samples of ground black pepper, red pepper, pimento, cumin, ground red pepper, garlic powder and sucuk spice mixes at the average levels of  $7.5 \times 10^4$  cfu/g (33.33%),  $3.4 \times 10^3$  cfu/g (29.41%),  $1.3 \times 10^4$  cfu/g (56.25%),  $2.5 \times 10^3$  cfu/g (35%),  $4.0 \times 10^4$  cfu/g (66.66%),  $9.5 \times 10^2$  cfu/g (22.22%),  $1.3 \times 10^4$  cfu/g (62.5%), respectively. Additionally, the highest contamination levels of yeast and moulds ( $4.4 \times 10^5$  cfu/g) were obtained from ground black pepper.

In the current study, 100% (n=42) of *B. cereus* isolates produced NHE enterotoxin. Further, 31 (73.8%) of the *B. cereus* isolates tested positive for both NHE and HBL enterotoxins.

The resistance of *B. cereus* isolates against penicillin G was found to be 92.8% (n=39), followed by ampicillin (83.3%; n=35), cephalotin (80.9%; n=34) and polymixin B (61.9%; n=26). Resistance to tetracycline (14.2%), kanamycin (11.9%), oleandomycin (2.3%), erythromycin (2.3%) and vancomycin (2.3%) were also observed in our study. No isolates were resistant to chloramphenicol, streptomycin or neomycin (Table 3).

In 2011, the Republic of Turkey Ministry of Food, Agriculture and Livestock established a maximum limit of  $10^4$  cfu/g spice of both coagulase-positive *S. aureus* and *B. cereus*. *Salmonella* spp. count should be zero in a 25 g sample. Varying counts of coliform bacteria have been reported in different spices. Elmali and Yaman (2005) indicated that coliform microorganism counts were  $1.1 \times 10^4$ ,  $1.3 \times 10^4$ ,  $4.2 \times 10^2$ ,  $4.5 \times 10^3$  and  $1.0 \times 10^3$  cfu/g for black pepper, powdered red pepper, granulated red pepper, cumin and sumac, respectively. In another work (Vural, 2004), the average coliform counts of ground black pepper, red pepper, pimento, cumin and ground red pepper were  $5.9 \times 10^3$ ,  $1.6 \times 10^4$ ,  $1.9 \times 10^4$ ,  $2.5 \times 10^4$  and  $9.9 \times 10^4$  cfu/g, respectively.

These results are in accordance with the values found in the current study. On the other hand, the average coliform count of red pepper in this study ( $9 \times 10^1$  cfu/g) was closer to those reported by other groups. A survey performed by Parveen et al. (2014) showed a coliform count of  $7.20 \times 10^1$  MPN/g in red pepper. In the present study, we didn't find any contamination with *E. coli* in the samples. However, a survey performed by Vural (2004) indicated that the average counts of *E. coli* were  $4.8 \times 10^3$ ,  $1.6 \times 10^4$ ,  $4.2 \times 10^2$ ,  $5.4 \times 10^2$  and  $6.5 \times 10^2$  cfu/g in ground black pepper, red pepper, pimento, cumin and ground red pepper, respectively. *E. coli* was found in 26.6% of the samples investigated by Elmali and Yaman (2005). In another work (Debs-Louka et al., 2013), *E. coli* counts ranged from  $<10$  to  $9 \times 10^3$  cfu/g,  $<10$  to  $3 \times 10^4$  cfu/g and  $<10$  to  $7 \times 10^3$  cfu/g in black pepper powder, seven spices mixture and cumin powder, respectively.

Elmali and Yaman (2005) reported yeast and mould counts in black pepper, powdered red pepper, granulated red pepper and cumin samples at the average numbers of  $3.8 \times 10^5$ ,  $1.2 \times 10^5$ ,  $3.4 \times 10^6$ ,  $4.2 \times 10^4$  and  $1 \times 10^6$  cfu/g, respectively. These results are close to the bacterial counts obtained in our study. On the other hand, Parveen et al. (2014) counted yeast and mould at the average number of  $1 \times 10^2$  cfu/g in red pepper alone. Filiz (2001)

reported the presence of yeast and mould at the average number of  $5 \times 10^2$  cfu/g. Vural (2004) reported  $4 \times 10^3$ ,  $1.3 \times 10^4$ ,  $1.9 \times 10^3$  and  $1.5 \times 10^4$  cfu/g of yeast and mould in ground black pepper, red pepper, pimento, cumin and ground red pepper, respectively, which is in agreement with the results of this study.

In the current study, *Salmonella* spp. was found in none of the spice samples. Similarly, Debs-Louka et al. (2013) and García et al. (2001) found no *Salmonella* spp. in a variety of spice samples. On the other hand, in the study of Sagoo et al. (2009), 2833 dried spices and herbs of different varieties were sampled across the United Kingdom in 2009, and thirty-one (1.1%) herb samples were found to have been contaminated with different *Salmonella* serovars at retail premises.

Konuma et al. (1988) reported that *B. cereus* was present in 39.7% of tested spices at levels between  $10^2$ - $10^4$  cfu/g. Similar results were reported by Deambrosis and Da Silva (1992), who found that the rate of isolation of *B. cereus* from spice samples was 41%. Our results are consistent with these observations. On the other hand, Kneifel and Berger (1994) and Rosenberger and Weber (1993) reported the absence of *B. cereus* in spices.

In our study, the highest contamination levels (unsatisfactory) ( $\geq 10^4$  cfu/g) were obtained from cumin ( $4.8 \times 10^4$  and  $1 \times 10^4$  cfu/g), ground black pepper ( $4.6 \times 10^4$ ,  $1.1 \times 10^4$  and  $1 \times 10^4$  cfu/g) and pimento ( $1.9 \times 10^4$  cfu/g) for *B. cereus*. A similar result has been observed by Aksu et al. (2000) who found the maximum *B. cereus* count was in cumin. Moreover, 8% (8 out of 100) of spices tested did not comply with (unsatisfactory or unacceptable quality) both the Turkish Food Codex criteria (2011) and the Commission Recommendation 2004/24/EC for *B. cereus* counts (*B. cereus*  $\geq 10^4$  cfu/g). These findings are similar to data reported by several researchers (Powers et al., 1976; De Boer et al., 1985; Pafumi, 1986; Kovács-Domján, 1988; Giaccone et al., 1996; Te Giffel et al., 1997). In comparison to our results, higher ( $5.72 \log_{10}$  cfu/g) and lower *B. cereus* levels ( $3.93 \log_{10}$  cfu/g) were observed by Hampikyan et al. (2009) and Elmali and Yaman (2005), respectively. In another previous study, *B. cereus* was detected at levels  $\geq 10^4$  cfu/g in 0.3% (2/647) of single spice samples (3rd Trimester National Microbiological Survey, 2005).

In a few extreme cases *B. cereus* at levels reaching  $10^5$ - $10^8$  cfu/g have been reported in various spices (Banerjee and Sarkar; 2003; Antai, 1988). However, most reports indicate the presence of this pathogen at levels which are in agreement with our findings ( $<3 \times 10^3$  cfu/g). In other studies of the microbiological status of herbs and spices, *B. cereus* was detected at  $\geq 10^4$  cfu/g in up to 49% of tested samples (Hampikyan et al., 2009; Little et al., 2003; Sagoo et al., 2009; Kneifel and Berger, 1994; Pafumi, 1986; Temelli and Anar, 2002).

In previous studies, Hariram and Labbe (2015) identified the production of both enterotoxins in 52% of *B. cereus* isolates from spice samples. The high prevalence of the NHE enterotoxin among *B. cereus* isolates has been demonstrated in many studies (Hariram et al., 2015; Guinebretiere et al., 2002; Moravek et al., 2006; Schoeni et al., 2005; Wehrle et al., 2009; Yang et al., 2005). We also obtained positive results for NHE in 100% (n=34) of our samples. Hariram and Labbe (2015) identified HBL enterotoxin production in 87% of *B. cereus* isolates.



Table 1. Presence of yeast & mold, coagulase positive *S. aureus*, coliforms & *E. coli* in spice samples (n= 100)

Sample type (st)	Microorganism							
	Yeast & mold		Coagulase positive <i>S. aureus</i>		Coliform & <i>E. coli</i>			
	No positive / no st (%)	Mean (cfu/g)	No positive / no st (%)	Mean (cfu/g)	Coliform positive / no st (%)	Mean (cfu/g)	<i>E. coli</i> positive / Coliform positive (%)	Mean (cfu/g)
Red pepper	5/17 (29)	3.4x10 <sup>3</sup>	2/17 (12)	1.6x10 <sup>3</sup>	1/17 (6)	9X10 <sup>1</sup>	1/1 (100)	9X10 <sup>1</sup>
Ground red pepper	8/12 (67)	4.0x10 <sup>4</sup>	0/12 (0)	-	4/12 (33)	2.3x10 <sup>4</sup>	0/4 (0)	-
Ground black pepper	6/18 (33)	7.5x10 <sup>4</sup>	1/18 (6)	-	11/18 (61)	2.7x10 <sup>3</sup>	0/11 (0)	-
Pimento	9/16 (56)	1.3x10 <sup>4</sup>	1/16 (6)	-	8/16 (50)	4.2x10 <sup>3</sup>	0/8 (0)	-
Cummin	7/20 (35)	2.5x10 <sup>3</sup>	0/20 (0)	-	11/20 (55)	1.7x10 <sup>4</sup>	0/11 (0)	-
Garlic powder	2/9 (22)	9.5x10 <sup>2</sup>	0/9 (0)	-	2/9 (22)	3.7x10 <sup>2</sup>	0/2 (0)	-
Sucuk spice mix	5/8 (63)	1.3x10 <sup>4</sup>	1/8 (13)	-	8/8 (100)	2.3x10 <sup>4</sup>	2/8 (25)	2.7x10 <sup>3</sup>
<b>Total</b>	<b>42/100</b>		<b>5/100</b>		<b>45/100</b>		<b>3/100</b>	

Table 2. The results of testing for isolation, identification and toxin-producing capability of *B. cereus* isolated from spices (n= 49)

Sample	Isolation	Identification		Toxin production	
	<i>B. cereus</i> count (cfu/g)	MALDI-TOF-MS		NHE	HBL
		Positive	Log (score)		
Red pepper (1)	2x10 <sup>2</sup>	+	2.053	+	+
Red pepper (15)	4x10 <sup>2</sup>	+	2.082	+	+
Red pepper (44)	2x10 <sup>2</sup>	+	1.842	+	+
Red pepper (75)	1x10 <sup>2</sup>	+	2.014	+	+
Red pepper (82)	2x10 <sup>2</sup>	+	1.958	+	-
Ground red pepper (6)	1x10 <sup>3</sup>	+	1.780	+	+
Ground red pepper (11)	1.2x10 <sup>2</sup>	-	-	-	-
Ground red pepper (49)	2x10 <sup>3</sup>	+	2.087	+	+
Ground red pepper (59)	1x10 <sup>3</sup>	+	2.234	+	+
Ground red pepper (68)	3x10 <sup>3</sup>	-	-	-	-
Ground red pepper (78)	3x10 <sup>2</sup>	+	2.294	+	-
Ground black pepper (3)	3.4x10 <sup>3</sup>	+	1.938	+	+
Ground black pepper (8)	1x10 <sup>3</sup>	+	1.834	+	+
Ground black pepper (13)	4.6x10 <sup>4</sup>	+	1.860	+	+
Ground black pepper (34)	1x10 <sup>4</sup>	+	2.114	+	+
Ground black pepper (40)	9.8x10 <sup>3</sup>	+	2.024	+	-
Ground black pepper (47)	1x10 <sup>3</sup>	+	1.998	+	-
Ground black pepper (57)	2.2x10 <sup>3</sup>	+	2.098	+	+
Ground black pepper (61)	2x10 <sup>2</sup>	+	2.136	+	+
Ground black pepper (62)	2x10 <sup>3</sup>	+	2.227	+	+
Ground black pepper (71)	1x10 <sup>2</sup>	+	2.153	+	+
Ground black pepper (79)	1x10 <sup>3</sup>	+	2.02	+	+
Ground black pepper (83)	5x10 <sup>2</sup>	+	2.138	+	-
Ground black pepper (84)	1.1x10 <sup>4</sup>	+	1.782	+	+
Pimento (2)	1.9x10 <sup>4</sup>	+	2.183	+	+
Pimento (7)	1x10 <sup>3</sup>	+	1.931	+	+
Pimento (12)	7x10 <sup>3</sup>	+	2.110	+	-
Pimento (18)	2x10 <sup>3</sup>	+	1.764	+	+
Pimento (33)	1.4x10 <sup>3</sup>	+	1.748	+	-
Pimento (43)	2x10 <sup>2</sup>	+	1.833	+	+
Pimento (50)	3x10 <sup>2</sup>	-	-	-	-
Pimento (58)	2x10 <sup>2</sup>	+	2.153	+	-
Cummin (4)	4.8x10 <sup>4</sup>	+	1.948	+	+
Cummin (9)	1.1x10 <sup>3</sup>	+	1.764	+	+
Cummin (16)	1x10 <sup>4</sup>	+	2.233	+	-
Cummin (46)	2x10 <sup>2</sup>	+	1.981	+	+
Cummin (72)	1x10 <sup>2</sup>	-	-	-	-
Cummin (76)	2x10 <sup>2</sup>	+	1.898	+	+
Garlic powder (10)	2x10 <sup>4</sup>	+	1.838	+	-
Garlic powder (17)	3x10 <sup>3</sup>	+	1.953	+	-
Garlic powder (51)	1x10 <sup>3</sup>	-	-	-	-
Garlic powder (55)	3x10 <sup>2</sup>	+	2.228	+	+
Garlic powder (70)	1.5x10 <sup>4</sup>	-	-	-	-
Garlic powder (95)	4x10 <sup>2</sup>	+	1.551	+	+
Sucuk spice mixes (19)	7x10 <sup>2</sup>	+	1.864	+	+
Sucuk spice mixes (45)	1x10 <sup>2</sup>	-	-	-	-
Sucuk spice mixes (74)	7x10 <sup>3</sup>	+	1.848	+	+
Sucuk spice mixes (89)	2x10 <sup>2</sup>	+	2.237	+	+
Sucuk spice mixes (100)	1x10 <sup>2</sup>	+	1.976	+	+

NHE: nonhaemolytic enterotoxin, HBL: haemolysin BL, + positive, - negative

Table 3. Number of resistant and susceptible *B. cereus* isolates to 12 different antibiotics

Antibiotics	No. of <i>B. cereus</i> isolates (n=42)	
	No. of resistant isolates	No. of susceptible isolates
Oleandomycin (15 µg)	1	39
Tetracycline (30 µg)	6	26
Polymixin B (300 U)	26	-
Chloramphenicol (30 µg)	-	38
Erythromycin (15 µg)	1	37
Penicillin G (10 U)	39	-
Cephalothin (30 µg)	34	7
Ampicillin (10 µg)	35	7
Kanamycin (30 µg)	5	26
Vancomycin (30 µg)	1	40
Streptomycin (10 µg)	-	42
Neomycin (30 µg)	-	42

Table 4. Multidrug resistance patterns observed among *B. cereus* isolates (n= 39)

Source	No. of multiple resistant isolates	Resistance pattern
Red pepper	1	
Ground red pepper	1	P, PB
Garlic powder	1	P, AMP
Cummin	1	P, PB, AMP
Sucuk spice mixes	2	
Pimento	2	
Ground black pepper	2	P, KF, AMP
Garlic powder	1	
Cummin	3	
Garlic powder	1	
Cummin	1	P, PB, KF
Ground red pepper	1	
Pimento	3	
Red pepper	3	P, PB, KF, AMP
Ground black pepper	5	
Sucuk spice mixes	1	
Ground red pepper	1	
Garlic powder	1	P, KF, AMP, TE
Cummin	1	
Ground black pepper	1	P, PB, KF, AMP, TE
Ground black pepper	4	P, PB, KF, AMP, K
Ground black pepper	1	P, PB, KF, AMP, TE, K
Pimento	1	P, KF, AMP, VA, E, OL

Ol, oleandomycin; Te, tetracycline; Pb, polymixin B; C, chloramphenicol; E, erythromycin; P, penicillin G; Kf, cephalothin; Amp, ampicillin; K, kanamycin; Va, vancomycin; S, streptomycin; N, neomycin

The broad application of antimicrobials in agriculture and veterinary medicine may lead to the emergence of resistant pathogens. These pathogens may enter the food chain through various foods, including meat and meat products, and may potentially affect human health (Khachatourians, 1998; Phillips et al., 2004). A remarkable variation to a wide range of antimicrobial agents has been described in the resistance of *B. cereus* isolated from spices in studies worldwide. Multiple antibiotic-resistant *B. cereus* has been reported to be associated with some food samples (Tewari et al., 2012; Meena et al., 2000).

A total of 41 (97.6%) *B. cereus* isolates were resistant to at least one antibiotic agent (Table 3) and 39 (92.8%) were resistant to two or more antibiotic agents (Table 4). This is in agreement with previous data that found high resistance rates in bacterial populations from spices (Hassan and Altalhi, 2013; Brown and Jiang, 2008). In only one isolate from red pepper (3% of total isolates from this source), no resistance was found (data not shown). In addition, 11 different patterns of multiple resistance were detected among the *B. cereus* isolates ranging from resistance to 2 drugs to resistance to 6 drugs. The most common multiple antibiotic resistance pattern was penicillin G, polymyxin B, cephalothin and ampicillin, which was observed in 33.3% (n=13) of isolates.

Previous work has shown that *B. cereus* isolates are highly susceptible to chloramphenicol and tetracycline and less sensitive to penicillin (Whong and Kwaga, 2007). In respect to chloramphenicol, penicillin and tetracycline resistance, our results align with those of Whong and Kwaga (2007), who determined chloramphenicol, penicillin and tetracycline resistance percentages of 0%, 82% and 6.7%, respectively, for *B. cereus* isolates from various foods, including spice samples.

#### 4. Conclusions and Recommendations

To the authors' best knowledge, this is the first report on the incidence of toxigenic and multidrug resistant *B. cereus* in spices in Turkey.

As shown in this study, a significant subset of the spices studied contained high numbers of *B. cereus*. Further, multidrug resistance and toxin production were observed in a majority of the isolates. The multidrug resistance patterns observed in this study suggest that these antibiotic agents are highly abused and can be found at sublethal doses in the environment. Occurrence of multidrug resistance and diarrhoeal toxin-producing *B. cereus* in high proportions of spices used in meat products may pose a significant public health hazard (Tewari, 2012).

Manufacturers should understand the microbiological risks involved in production of meat products and should apply a farm-to-table approach to food safety. Manufacturers may also use sterilized spices to reduce the risk of contamination of meat products with these microorganisms. As a recommendation, we can say that manufacturers should source spices from certified suppliers complying with systems such as QA, GMP and ISO systems. They should also apply GMP rules, and HACCP systems should be applied in their premises.

#### 5. Acknowledge

This manuscript was edited before submission by American Journal Experts (AJE).

#### References

- Agaoglu, S., Sancak, Y. C., Alisarli, M., Ekici, K. 1999. The presence of *B. cereus* in some spice varieties offered for sale in Van market. *Journal of Research in Veterinary Medicine*, 1-2(18), 89-96.
- Aksu, H., Bostan, K., Ergün, Ö. 2000. Presence of *Bacillus cereus* in packaged some spices and herbs sold in Istanbul. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3(5), 710-712.
- Antai, S. P., 1988. Study of *Bacillus* flora of Nigerian spices. *International Journal of Food Microbiology*, 6: 259-261.
- Banerjee, M., Sarkar, P. K. 2003. Microbiological quality of some retail spices in India. *Food Research International*, 36: 469-474.
- Bauer, A. W., Kirby, W. M., Sherris, J. C., Truck, M. 1966. Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. *American Journal of Clinical Pathology*, 45: 493-496.
- Brown, J. C., Jiang, X. 2008. Prevalence of antibiotic-resistant bacteria in herbal products. *Journal of Food Protection*, 71(7), 1486-90.
- Cameron, G. 1998. Need to consider *Bacillus subtilis* as a cause of food poisoning. *New Zealand Public Health Surveillance Report*, 5(2), 11.
- Deambrosis, N., Da Silva, A. 1992. Incidence of *Bacillus cereus* in spices. *Proceedings of the 3rd World Congress on Foodborne Infections and Intoxications*, 1: 316, Berlin.
- De Boer, E., Spielenberg, W. M., Janssen, F. W. 1985. Microbiology of spice and herbs. *Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Micr*, 51: 435-438.
- Debs-Louka, E., Zouki, J. E., Dabboussi, F. 2013. Assessment of the microbiological quality and safety of common spices and herbs Sold in Lebanon, *Journal of Food and Nutritional Disorders*, 2: 4.
- Eglezos, S., Huang, B., Dykes, E. A., Fegan, N. 2010. The prevalence and concentration of *Bacillus cereus* in retail food products in Brisbane, Australia. *Foodborne Pathogens and Disease*, 7 (7), 1-3.
- Elmalı, M., Yaman, H. 2005. Microbiological Quality of some spices sold in the Markets of Bitlis District. *Erciyes University Journal of the Faculty of Veterinary Medicine*, 2(1), 9-14.
- Erol, İ., Küplülü, Ö., Karagöz, S. 1999. Microbiological quality of some spices consumed in Ankara. *Veterinary Journal of Ankara University*, 46: 115-125.
- Filiz, N. 2001. Microbial flora of some ground spices consumed in Bursa, *Journal of Research in Veterinary Medicine*, 20: 103-107.
- García, S., Iracheta, F., Galván, F., Heredia, N. 2001. Microbiological survey of retail herbs and spices from Mexican markets. *Journal of Food Protection*, 64: 99-103.
- Giaccone, V., Colavita, G., Torriani, S., Ciocca, R. M., Augelli, R. 1996. Occurrence of *Bacillus cereus* and other *Bacillus* spp. in spices. *Archiv Für Lebensmittelhygiene*, 47(2), 47-49.
- Guinebretiere, M. H., Broussolle, V., Nguyen-The, C. 2002. Enterotoxigenic profiles of food-poisoning and food-borne *Bacillus cereus* strains. *Journal of Clinical Microbiology*, 40: 3053-3056.
- Hampikyan, H., Bingol, E. B., Colak, H., Aydin, A. 2009. The evaluation of microbiological profile of some spices used in



- Turkish meat industry. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7(3-4), 111-115.
- Hansen, B. M., Hendriksen, N. B. 2001. Detection of enterotoxigenic *Bacillus cereus* and *Bacillus thuringiensis* strains by PCR analysis. *Applied and Environmental Microbiology Journal*, 67(1), 185-189. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.1.185-189.2001>.
- Hariram, U., Labbé, R. 2015. Spore prevalence and toxigenicity of *Bacillus cereus* and *Bacillus thuringiensis* isolates from U.S. retail spices. *Journal of Food Protection*, 78(3), 590-596.
- Hassan, S. A., Altalhi, A. D. 2013. Safety assessment of spices and herbs consumed in Saudi Arabia: Microbiological Quality and Toxin Production. *Life Science Journal*, 10(4), 2819-2827.
- International Organization for Standardization (ISO 6579: 2002). 2002. Microbiology of food and animal feeding stuffs- Horizontal method for detection of *Salmonella* spp. Geneva, Switzerland.
- Julseth, R. M., Deibel, R. H. 1974. Microbial profile of selected spices and herbs at Import. *Journal of Milk and Food Technology*, 37: 414-419.
- Khachatourians, G. G. 1998. Agricultural use of antibiotics and the evolution and transfer of antibiotic-resistant bacteria. *Canadian Medical Association Journal*, 159(9), 1129-1136.
- Kneifel, W., Berger, E. 1994. Microbiological criteria of random samples of spices and herbs retailed on the Austrian Market. *Journal of Food Protection*, 57: 839-901.
- Konuma, H., Shinagawa, K., Tokumaru, M., Onoue, Y., Konno, S., Fujino, N., Shigehisa, T., Kurata, H., Kuwabara, Y., Lopes, C. A. M. 1988. Occurrence of *Bacillus cereus* in meat products, raw meat and meat product additives. *Journal of Food Protection*, 51(4), 324-326.
- Koohy-Kamaly-Dehkordy, P., Nikoopour, H., Siavoshi, F., Koushki, M., Abadi, A. 2013. Microbiological quality of retail spices in Tehran, Iran. *Journal of Food Protection*, 76(5), 843-852. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-180>
- Kramer, J. M., Gilbert, R. J. 1989. *Bacillus cereus* and other *Bacillus* species. In, Doyle MP (Ed): *Foodborne Bacterial Pathogens*. 21-70, Marcel Dekker, New York.
- Kovács-Domján, H. 1988. Microbiological investigation of paprika and pepper with special regard to sporeformers including *B. cereus*. *Acta Alimentaria*, 17: 257-264.
- Little, C. L., Omotoye, R., Mitchell, R. T. 2003. The microbiological examination of ready-to-eat foods to which spices have been added. *International Journal of Environmental Health Research*, 13(1), 31-42.
- Lund, T., Granum, P. E. 1996. Characterisation of a non-haemolytic enterotoxin complex from *Bacillus cereus* isolated after a foodborne outbreak. *FEMS Microbiology Letters*, 141(2-3), 151-6.
- Meena, B. S., Kapoor, K. N., Agarwal, R. K. 2000. Occurrence of multi-drug resistant *Bacillus cereus* in foods. *Journal of Food Science and Technology*, 37: 289-291.
- Moravek, M., Dietrich, R., Buerk, C., Broussolle, V., Guinebrière, M. H., Granum, P. E., Nguyen-The, C., Märtilbauer, E. 2006. Determination of the toxic potential of *Bacillus cereus* isolates by quantitative enterotoxin analyses. *FEMS Microbiology Letters*, 257(2), 293-8.
- Moss, M. O., Baker, T. 2000. Teaching Techniques for Mycology: 10. Moulds from spices; Eurotium species. *Mycologist*, 14(2), 54-57.
- Pafumi, J. 1986. Assessment of the microbiological quality of spices and herbs. *Journal of Food Protection*, 49(12), 958-963.
- Parveen, S., Das, S., Begum, A., Sultana, N., Hoque, M. M., Ahmad, I. 2014. Microbiological quality assessment of three selected spices in Bangladesh. *International Food Research Journal*, 21(4), 1327-1330.
- Pehlivanoglu, H., Nazli, B., Imamoglu, H., Cakır, B. 2015. Piyasada fermente sucuk olarak satılan ürünlerin kalite özelliklerinin saptanması ve geleneksel türk fermente sucuğu ile karşılaştırılması. *J Fac Vet Med Istanbul Univ*, 41(2), 191-198.
- Phillips, I., Casewell, M., Cox, T., Brad De Groot, Friis, C., Jones, R., Nightingale, C., Preston, R., Waddell, J. 2004. Does the use of antibiotics in food animals pose a risk to human health? A critical review of published data. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 53: 28-52. <https://doi.org/10.1093/jac/dkg483>
- Rosenberger, A., Weber, H. 1993. Keimbelastung von gewürzproben. Mikrobiologischer status im hinblick auf richt und warnwerte. *Fleischwirtsch*, 73: 830-833.
- Powers, E. M., Latt, T. G., Brown, T. 1976. Incidence and levels of *Bacillus cereus* in processed spices. *Journal of Milk and Food Technology*, 39(10), 668-670.
- Sagoo, S. K., Little, C. L., Greenwood, M., Mithani, V., Grant, K. A., McLaughlin, J., Pinna, E., Threlfall, E. J. 2009. Assessment of the microbiological safety of dried spices and herbs from production and retail premises in the United Kingdom. *Food Microbiology*, 26: 39-43.
- Schoeni, J. L., Wong, A. C. L. 2005. *Bacillus cereus* food poisoning and its toxins. *Journal of Food Protection*, 68(3), 636-648.
- Shinagawa, H., Makino, K., Amemura, M., Kimura, S., Iwasaki, H., Nakata, A. 1988. Structure and regulation of the *Escherichia coli* *ruv* operon involved in DNA repair and recombination. *Journal of Bacteriology*, 170: 4322-4329.
- Te Giffel, M. C., Beumer, R. P., Granum pe, Rombouts, F. M. 1997. Isolation and characterisation of *Bacillus cereus* from pasteurised milk in household refrigerators in the Netherlands. *International Journal of Food Microbiology*, 34, 307-318.
- Temelli, S., Anar, S. 2002. Prevalence of *Bacillus cereus* in spices and herbs marketed in Bursa. *Journal of Faculty of Veterinary Medicine, Istanbul University*, 28(2), 459-465.
- Tewari, A., Singh, S. P., Singh, R. 2012. Prevalence of multidrug resistant *Bacillus cereus* in foods and human stool samples in and around Pantnagar, Utrakhnad. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 2: 252-255.
- Turkish Food Codex Microbiological Criteria Regulation, 2011.
- Third Trimester National Microbiological Survey, 2005. EU Coordinated programme. Bacteriological Safety of Pre-packaged Mixed Salads.
- Tulu S, Demissie S, Dabassa A: Mikrobial safety of some selected spices sold in Jimma Town, South Western of Ethiopia. *Res J Microbiol*, 9(1): 43-50, 2013.
- Verluyten, J., Leroy, F., Luc de Vuyst. 2004. Effects of different spices used in production of fermented sausages on growth of and curvacin a production by *Lactobacillus curvatus* LTH 1174. *Applied and Environmental Microbiology Journal*, 70(8), 4807-4813. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.8.4807-4813.2004>

- Vural, A. 2004. Investigation on the microbiological quality of consumed some spices in Diyarbakır province. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 10(1), 13-18.
- Wehrle, E., Moravek, M., Dietrich, R., Bürk, C., Didier, A., Märklbauer, E. 2009. Comparison of multiplex PCR, enzyme immunoassay and cell culture methods for the detection of enterotoxinogenic *Bacillus cereus*. *Journal of Microbiological Methods*, 78: 265-270.
- Whong, C. M. Z., Kwaga, J. K. P. 2007. Antibigrams of *Bacillus cereus* isolates from some Nigerian foods. *Nigerian Food Journal*, 25(1), 178-183.
- Yang, I. C., Shih, D. Y., Huang, T. P. 2005. Establishment of a novel multiplex PCR assay and detection of toxigenic strains of the species in the *Bacillus cereus* group. *Journal of Food Protection*, 68: 2123-30. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-68.10.2123>



# Gold Price Forecasting Using LSTM, Bi-LSTM and GRU

Mustafa Yurtsever<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Department of Information Technology, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2232-0542), mustafa.yurtsever@deu.edu.tr

(First received 29 June 2021 and in final form 6 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.959405)

**ATIF/REFERENCE:** Yurtsever, M. (2021). Gold Price Forecasting Using LSTM, Bi-LSTM and GRU. *European Journal of Science and Technology*, (31), 341-347.

## Abstract

Due to the multifactorial and non-linear nature of the gold market, it is difficult to predict the gold price. The gold price is affected by many external factors, such as market environment, economic crises, oil price increases, tax advantages and interest rates. Therefore, multivariate models can better predict the gold price than univariate models. This study investigated the effects of gold price, crude oil price, consumer price index, exchange rate index, stock market index, and interest indicators between 2001 and 2021. Models created using LSTM, Bi-LSTM and GRU methods were evaluated using lowest Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Percent Error (MAPE) and Mean Absolute Error (MAE) metrics. The LSTM model performed best, with 3.48 MAPE, 61,728 RMSE and 48.85 MAE values.

**Keywords:** Gold Price, LSTM, Bi-LSTM, GRU.

## LSTM, Bi-LSTM ve GRU ile Altın Fiyatı Tahmini

### Öz

Altın piyasasının çok faktörlü ve doğrusal olmayan özelliği nedeniyle altın fiyatının tahminini yapmak zordur. Altın fiyatı, piyasa ortamı, ekonomik kriz, petrol fiyatlarındaki artış, vergi avantajları, faiz oranları gibi dış faktörlerden etkilenmektedir. Bu nedenle çok değişkenli modeller altın fiyatını tahmin etmede daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Makalede, 2001–2021 yılları arasında altın fiyatı, ham petrol fiyatı, üretici fiyat endeksi, döviz kuru endeksi, borsa endeksi ve faiz göstergeleri kullanılmıştır. LSTM, Bi-LSTM ve GRU yöntemleri kullanılarak oluşturulan modeller en düşük Kök Ortalama Kare Hata (RMSE), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) ve Ortalama Mutlak Hata (MAE) metrikleri ile değerlendirilmiştir. LSTM modeli 3,48 MAPE, 61,728 RMSE ve 48,85 MAE değerleri ile en iyi yöntem olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Altın Fiyatı, LSTM, Bi-LSTM, GRU

\* Corresponding Author: [mustafa.yurtsever@deu.edu.tr](mailto:mustafa.yurtsever@deu.edu.tr)

## 1. Introduction

A time series is a sequential collection of data related to any event based on time. Time series analysis is an important technique for producing insights by analyzing historical events and transactions over time (Parmezan et al., 2019). Relationships derived from past events observed in succession are useful for predicting the future.

A multivariate time series is one in which the output is predicted by more than one time-dependent variable (Nguyen et al., 2021). That is, the estimation depends not only on historical data but also on relationships between variables, which are usually correlated. Better prediction results can be obtained by including all relevant variables in the model instead of modeling a single variable (Du et al., 2020). However, it is important to select an appropriate set of variables as input is important for accurate prediction (Munkhdalai et al., 2019).

Different time series analysis methods are used in the literature. The most commonly used methods for univariate analyses include linear regression, exponential smoothing and autoaggressive integrated moving average methods, such as ARIMA. ARIMA models, developed by Box and Jenkins, are the most commonly used method. However, these models are not sufficient for nonlinear time series (Zhang, 2003; Shen et al., 2020). Instead, machine learning and neural networks are used in a wide variety of applications due to their superior ability to understand nonlinear relationships between complex inputs and outputs. The prominence of deep learning (LeCun et al., 2015; Schmidhuber, 2015), with its strong representation, has brought different applications in many fields.

The Recurrent Neural Network model (RNN) is designed to model temporal dependencies in time series. However, there is a gradient problem (Karim et al., 2019). Hochreiter and Schmidhuber (1997) therefore developed the Long Short-Term Memory (LSTM) model, which they presented as a new method. This adds a gate mechanism into the RNN layers to control information flow. By retaining knowledge of many previous timesteps, this method derives relationships from the information in older timesteps more effectively than traditional RNN. LSTM is also designed to store information better, thereby eliminating the short-term memory problem of standard RNN. (Gunduz, 2021). LSTM is used in many fields, but particularly finance (Alpay, 2020; Güleriyüz and Özden, 2020; Aygun and Kabakcu Gunay, 2021; Yıldırım et al., 2021). The Gated Recurrent Units (GRU) method is also frequently used in time series problems as it has a similar structure to LSTM (Shen et al., 2018; Dutta et al., 2020).

Gold is used in various industries, including electronics, aerospace, medicine and jewelry. It is also used as an investment tool. Gold is considered a precious metal for both its commodity and monetary qualities. It is simultaneously a commodity, a precious metal and a currency. Within the financial market, the gold market attracts great attention from individuals, institutional investors and governments.

As a precious metal, gold has always been considered valuable. It has also demonstrated an extraordinary ability to maintain its value, even during economic, financial and political crises. Central banks worldwide maintain gold reserves to guarantee the money of depositors, external debt creditors and foreign exchange holders. Central banks also use gold reserves to

control inflation. Although gold is no longer used as money, it is one of the most important commodities traded worldwide. For example, it is the best hedging tool, especially for governments and central banks. According to Dar and Maitra (2017), gold retains its value in times of economic crisis when the value of other assets drops significantly. Because of its popularity and importance, forecasting gold prices is very important, not only for economists, but also for government treasury units, central banks, financial institutions and individuals.

Due to the global nature of the gold market, it is a fluctuating nonlinear system influenced by many factors (Alameer et al., 2019). Consequently, the causes of gold price fluctuations are very complex (Livieris et al., 2020). Therefore, it is a challenge to create models that can predict the future gold price.

Researchers have developed various models to predict the gold price. Parisi et al. (2008) used iterative and rolling neural network models while Yazdani-Chamzini et al. (2012) used the Adaptive Neuro-fuzzy Inference System and Artificial Neural Network (ANN) model, which they compared to the ARIMA model. Li (2014) applied the wavelet neural network method together with a new artificial bee colony algorithm.

Xian et al. (2016) created a gold price model using ensemble empirical model decomposition and independent component analysis while Gangopadhyay et al. (2016) used the vector error correction model. Sivalingam et al. (2016) developed extreme learning machines, which used the past prices of gold, silver and oil, the S&P 500 index and the exchange rate. Jianwei et al. (2019) presented a new combination based on independent component analysis and gated recurrent unit neural network methods. Alameer et al. (2019) used an advanced multilayer perceptron neural network and whale optimization algorithm. Risse (2019) combined discrete wavelet decomposition and support vector regression methods. Hassani et al. (2015) used multivariate Bayesian autoregression (BAR) models and five variations of Bayesian VAR. Zhang and Ci (2020) used the deep belief network method while Weng et al. (2020) aimed to reduce the effect of randomness on prediction results by using a genetic algorithm and improved extreme machine learning.

Many empirical studies identified factors affecting the gold price in order to estimate it. Statistical and econometric analyses suggest various explanatory variables. The link between gold and oil prices is typically positive in that crises tend to raise both (Shafiee and Topal, 2010; Yazdani-Chamzini et al., 2012; Chen and Xu, 2019). Similarly, Wang and Chueh (2013) concluded that gold and oil prices increase each other whereas interest rates and the US dollar reduces the gold price. Currency depreciations also make investors to turn to gold, which explains the negative relationship between the gold price and the exchange rate (Giannellis and Koukouritakis, 2019). Investors include gold in their portfolios to protect against inflation (Gokmenoglu and Fazlollahi, 2015).

The gold price is related to the stock market index, exchange rate, consumer price index (CPI), US bond rates and oil price (Gangopadhyay et al., 2016). CPI is one of the important indicators of inflation. In the long run, the US CPI and the gold price are positively correlated. Since gold resists inflation, investors prefer it whenever there is high inflation. Thus, when CPI increases, the gold price also increases (Liu and Li, 2017). The consumer price index and the dollar also affect gold prices (Xian et al., 2016), with a negative relationship between the gold price and the interest rate as increasing interest rates reduce



interest in gold (Giannellis and Koukouritakis, 2019). Mensi et al. (2013) examined correlations and volatility transfer between various commodities, including gold, oil and the stock market. They found that the S&P500 price affects the volatility of gold and oil prices. The gold price rises at the rate of general inflation over time, which makes it is an effective hedge against inflation (Ghosh et al., 2004). In the very long run, gold is useful as a partial protection as a cointegrating relationship prevails (Beckmann & Czudaj, 2013). However, the evidence for effective protection against unexpected inflation is weak (Erb and Harvey, 2013).

This article provides some new information for forecasting the gold price based on economic indicators. The LSTM, Bi-LSTM and GRU methods were used to predict the gold price. The data set was created from various economic indicators and the gold ounce price between 2001 and 2021. Although the gold price has been estimated with different methods in the literature, it is original in terms of the variables used in the study.

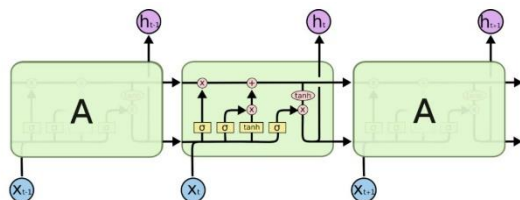
The next section explains the methodology used in the study while the third section presents the data set and application procedures. The fourth chapter presents the findings while the last section discusses the findings in relation to the literature, suggests some theoretical and practical contributions, and offers some conclusions.

## 2. Material and Method

### 2.1. LSTM, Bi-LSTM

The LSTM deep learning algorithm is a recurrent neural network introduced by Hochreiter and Schmidhuber in 1997 to eliminate the disadvantages of RNN architecture. In the RNN approach, each item in the input data is iteratively examined by considering the value of the previous output. In general, RNN is disadvantaged because gradients are lost when learning long data sequences. LSTM solves this problem by determining when certain information is used or not. An LSTM model consists of the input layer, hidden layers and output layer. Each block has several memory cells attached to it and three multiplier units, input, output, and forget gates. Depending on these components, the LSTM cell block contains three gates and a memory cell unit capable of forgetting or memorizing information to determine how much information should be transferred to the next cell. Figure 1 shows the LSTM architecture.

Figure 1. LSTM Architecture (Olah, 2015).



The equations that perform these operations are as follows.

$$f_t = \sigma(W_f * [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (1)$$

$$i_t = \sigma(W_i * [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (2)$$

$$\hat{C}_t = \tanh(W_C * [h_{t-1}, x_t] + b_C) \quad (3)$$

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \hat{C}_t \quad (4)$$

$$o_t = \sigma(W_o * [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (5)$$

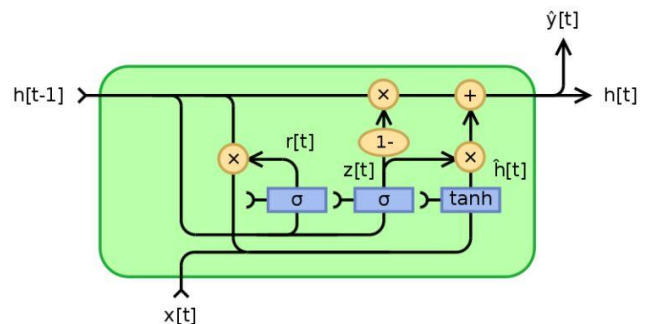
$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (6)$$

To overcome the limitations of the LSTM cell, which can work on the previous content but cannot use the future, Schuster and Paliwal (1997) presented bidirectional recurrent neural networks consisting of two different LSTM hidden layers with similar outputs in opposite directions. With this architecture, previous and future information is used in the output layer. Bi-LSTM, in particular, integrates the concept of time order by performing the learning process in two directions, from the past to the future and from the future to the past.

### 2.1. GRU

The GRU model has a gate mechanism to regulate the flow of information so as to remember context in multiple time steps (Cho et al., 2014). It uses an update gate and reset gate to determine what past information can be kept or forgotten. While GRU is similar to LSTM, it combines LSTM's forget and input gates into a single update gateway. The update gate decides how much past information is passed on while the reset gate decides how much is discarded. Figure 2 shows the structure of a GRU unit. GRU outperforms LSTM in terms of training time and prediction accuracy due to its very simple structure (Jianwei et al., 2019).

Figure 2. GRU Architecture



There are two gates in the GRU: the update and reset gates. These two gates, which decide what information is transmitted to the output, decide the information to be deleted and transferred. These operations are performed by the following equations:

$$r_t = \sigma(W_r h_{t-1} + U_r x_t) \quad (7)$$

$$\hat{h}_t = \tanh(W (r_t * h_{t-1}) + U x_t) \quad (8)$$

$$z_t = \sigma(W_z h_{t-1} + U_z x_t) \tag{9}$$

$$h_t = (1 - z_t) * h_{t-1} + z_t * \hat{h}_t \tag{10}$$

$h_t$  and  $h_{t-1}$  represent the output of the current and previous states, respectively while  $r_t$  and  $Z_t$  indicate the reset and update gates, respectively.  $\sigma$  is the logistic sigmoid function while  $W_r$  and  $U_r$  are the weight matrices.

### 2.1. Accuracy Measures

Mean absolute percent error (MAPE), root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAE) indicators defined by equations (11), (12) and (13), respectively were used to evaluate the performance of the models in this study.

In MAPE, the mean absolute error is calculated to show how close the predicted and actual values are. Here,  $\hat{y}_i$  is the predictive value,  $y_i$  is the actual value and  $n$  is the length of the time series. However, because MAPE splits each error separately according to demand, its value is distorted.

$$MAPE = (\sum_{t=1}^n |\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}|) \frac{100}{n} \tag{11}$$

MSE measures the difference between the observed and estimated values; RMSE is the square root of the MSE value. RMSE is a good measure of predictive accuracy, so it is often used as a standard metric to measure model performance. A low value of RMSE indicates high model performance.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \tag{12}$$

MAE measures the difference between two continuous variables. The expected value of MAE for the best model is zero.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \tag{13}$$

### 3. Data

The data set used in the study consisted of 20 years (2001-2021) of the gold ounce price and five explanatory variables. The following economic indicators were used: crude oil price, consumer price index, effective exchange rate, effective federal funds rate and S&P 500 stock market index. All these variables are assumed to affect the gold ounce price. Figure 3 shows the graph of the gold ounce price (Index Mundi, 2021) over the 20-year period.

Figure 3. Gold Ounce Price (2001-2021)



Table 1 shows the independent variables used in the established models and the sources they provide.

Table 1. Independent Variables

Variable	Frequency	Source
Consumer Price Index	Monthly	Organization for Economic Co-operation and Development (2021)
Effective Federal Funds Rate	Monthly	Board of Governors of the Federal Reserve System (2021)
Crude Oil Price	Monthly	U.S. Energy Information Administration (2021)
Real Broad Effective Exchange Rate	Monthly	Bank for International Settlements (2021)
S&P 500	Monthly	Yahoo Finance (2021)
Gold Price	Monthly	Index Mundi (2021)

Data were rescaled between 0 and 1 by normalization. After normalizing the dataset before training and testing, the first 170 observations (70%), from January 2001 to January 2015, were allocated for training. Then, the last 72 observations (30%), from February 2015 to February 2021, provided the test data to validate the accuracy of the proposed model.

Training of all models was carried out using Python 3.6 on Microsoft Windows 10 operating system. The LSTM model was implemented using the Keras library of deep learning. The selected hyperparameters for the validation experiments are listed in Table 2.

Table 2. Hyperparameter Values

<b>LSTM/Bi-LSTM/GRU</b>	<b>Hidden Layers</b>	3
	<b>No. of neurons</b>	128, 64, 32
	<b>Learning rate</b>	0.001
	<b>Optimizer</b>	Adam
	<b>Loss Function</b>	MSE
	<b>Time step</b>	1

In the study, there are 3 hidden layers of the network that gives the prediction results. In the first layer, the input layer, six independent data are presented to the network as input. The first of the three hidden layers consists of 128 neurons, the second 64 neurons, and the third 32 neurons. The last layer is the output layer, which produces the prediction result based on the inputs.

**4. Results**

A 6×244 data set covering January 2001 to March 2021 was created with the five economic indicators and the gold ounce price. In this study, the price of gold, which is important for decision makers, was estimated using deep learning methods. One month ago values of the independent variables were used to estimate the future value of the dependent variable. The gold ounce price forecast was based on the input indicators. Across different experiments, the batch size and epochs directly affected the prediction accuracy. Some of the models that were tried while creating the model in the study are shown in Table 3. LSTM produced the best RMSE, MAPE and MAE values, followed in ascending order by Bi-LSTM and GRU.

The performances of the models listed in Table 3 were calculated by comparing the estimation results with the actual values. The model with the highest performance ratio is the 6th LSTM model.

Table 3. Performance results of models

Model No	Batch Size	Epochs	MAPE	RMSE	MAE
Model 1 (LSTM)	32	500	6.13	100.931	87.02
Model 2 (LSTM)	64	500	5.78	92.913	80.17
Model 3 (LSTM)	128	500	6.53	102.844	89.28
Model 4 (LSTM)	32	1000	8.18	136.839	117.92
Model 5 (LSTM)	64	1000	5.55	94.795	79.74
<b>Model 6 (LSTM)</b>	<b>128</b>	<b>1000</b>	<b>3.48</b>	<b>61.728</b>	<b>48.85</b>
Model 1 (Bi-LSTM)	32	500	7.57	126.614	109.05
Model 2 (Bi-LSTM)	64	500	4.99	84.614	71.06
Model 3 (Bi-LSTM)	128	500	4.33	72.977	60.59
Model 4 (Bi-LSTM)	32	1000	8.17	140.672	118.94
Model 5 (Bi-LSTM)	64	1000	6.36	111.520	92.70
<b>Model 6 (Bi-LSTM)</b>	<b>128</b>	<b>1000</b>	<b>4.24</b>	<b>76.711</b>	<b>61.53</b>
Model 1 (GRU)	32	500	8.02	132.914	115.07
Model 2 (GRU)	64	500	5.66	96.321	81.20

<b>Model 3 (GRU)</b>	128	500	5.12	86.177	72.66
<b>Model 4 (GRU)</b>	32	1000	8.52	144.977	123.56
<b>Model 5 (GRU)</b>	64	1000	6.96	121.806	101.50
<b>Model 6 (GRU)</b>	<b>128</b>	<b>1000</b>	<b>4.91</b>	<b>87.425</b>	<b>71.24</b>

Following the LSTM model, the 6th Bi-LSTM and the 6th GRU models gave the best results. The epoch value of these three models is 1000 and the batch size value is 128. It was observed that the model predicted better as these two values increased. Figures 4, 5 and 6 compare the actual ounce values of gold with the values predicted by each method.

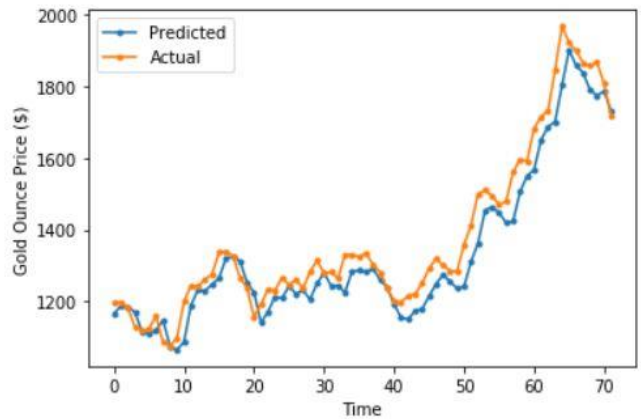


Figure 4. Actual and Predicted Gold Ounce Price with LSTM

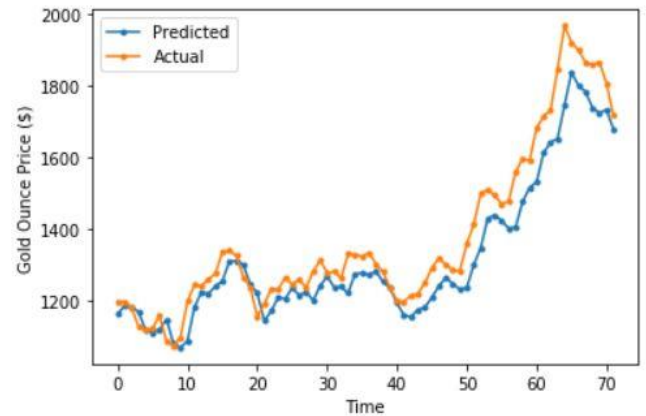


Figure 5. Actual and Predicted Gold Ounce Price with Bi-LSTM

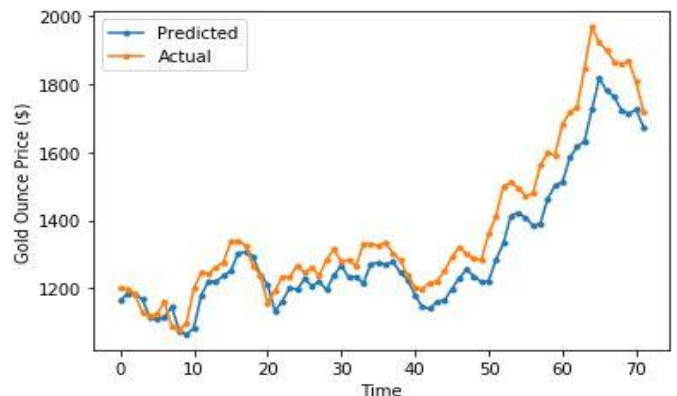


Figure 6. Actual and Predicted Gold Ounce Price with GRU

Figure 7 shows the estimation results of all models are given together.

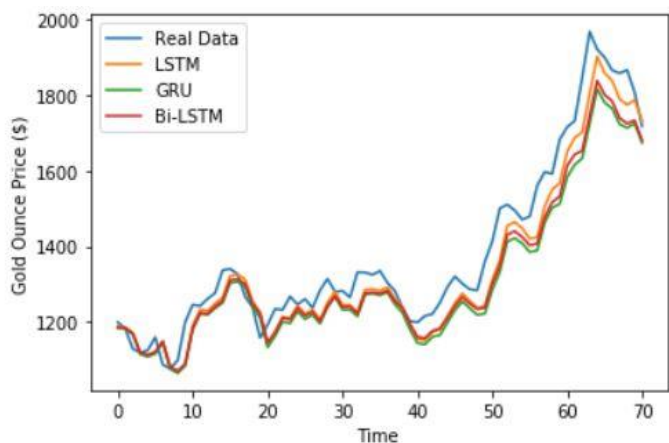


Figure 7. Actual and Predicted Gold Ounce Price with Models

## 5. Discussion and Conclusion

This compared the performance of three multivariate models (LSTM, Bi-LSTM and GRU) for predicting the gold price using monthly time series data. To evaluate their accuracy, MAE, RMSE and MAPE values were checked. Five economic indicators were used: crude oil price, consumer price index, stock market index, effective exchange rate and interest rate. Comparison of the actual gold price with each model's predicted values showed that LSTM performed best. The models also showed that economic indicators affect the gold ounce price, which is consistent with previous findings (Gokmenoglu & Fazlollahi, 2015; Sivalingam et al., 2016; Chen & Xu, 2019).

Deep learning applications have been widely used in various fields of science in recent years. In this context, the field of finance has also started to use deep learning applications effectively. The main reason for this is the highly volatile nature of financial markets and their capacity to be affected by many variables. For financial market stakeholders, this variability is both an opportunity and a major risk. Deep learning applications to be developed in this direction should provide investors with the opportunity to catch market opportunities on the one hand, and provide protection against risks that may arise in the market, on the other hand. This is important because the gold market is followed by governments and individual investors worldwide

The results suggest that LSTM, Bi-LSTM and GRU are all satisfactory estimators for the ordinal data used in this study. Future studies can use the models evaluated here to predict gold price while including other external variables. Prediction models can be made for gold price as well as other precious metals.

## References

Alameer, Z., Abd Elaziz, M., Ewees, A. A., Ye, H., & Jianhua, Z. (2019). Forecasting gold price fluctuations using improved multilayer perceptron neural network and whale optimization algorithm. *Resources Policy*, 61, 250-260.

Alpay, Ö. (2020). LSTM Mimarisi Kullanarak USD/TRY Fiyat Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ejosat Özel Sayı 2020 (ARACONF), 452-456.

Aygun, B., Kabakçı Gunay, E. (2021). Comparison of Statistical and Machine Learning Algorithms for Forecasting Daily Bitcoin Returns. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 444-454.

Bank for International Settlements, Real Broad Effective Exchange Rate for United States [RBUSBIS], retrieved from FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis; <https://fred.stlouisfed.org/series/RBUSBIS>, June 28, 2021.

Board of Governors of the Federal Reserve System (US), Effective Federal Funds Rate [FEDFUNDS], retrieved from FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis; <https://fred.stlouisfed.org/series/FEDFUNDS>, June 28, 2021

Beckmann, J., & Czudaj, R. (2013). Gold as an inflation hedge in a time-varying coefficient framework. *The North American Journal of Economics and Finance*, 24, 208-222.

Chen, R., & Xu, J. (2019). Forecasting volatility and correlation between oil and gold prices using a novel multivariate GAS model. *Energy Economics*, 78, 379-391.

Cho, K., Van Merriënboer, B., Gulcehre, C., Bahdanau, D., Bougares, F., Schwenk, H., & Bengio, Y. (2014). Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation. *arXiv preprint arXiv:1406.1078*.

Dar, A. B., & Maitra, D. (2017). Is gold a weak or strong hedge and safe haven against stocks? Robust evidences from three major gold-consuming countries. *Applied Economics*, 49(53), 5491-5503.

Du, S., Li, T., Yang, Y., & Horng, S. J. (2020). Multivariate time series forecasting via attention-based encoder-decoder framework. *Neurocomputing*.

Dutta, A., Kumar, S., & Basu, M. (2020). A gated recurrent unit approach to bitcoin price prediction. *Journal of Risk and Financial Management*, 13(2), 23.

Erb, C. B., & Harvey, C. R. (2013). The golden dilemma. *Financial Analysts Journal*, 69(4), 10-42.

Gangopadhyay, K., Jangir, A., & Sensarma, R. (2016). Forecasting the price of gold: An error correction approach. *IIMB management review*, 28(1), 6-12.

Ghosh, D., Levin, E. J., Macmillan, P., & Wright, R. E. (2004). Gold as an inflation hedge?. *Studies in Economics and Finance*.

Giannellis, N., & Koukouritakis, M. (2019). Gold price and exchange rates: A panel smooth transition regression model for the G7 countries. *The North American Journal of Economics and Finance*, 49, 27-46.

Gokmenoglu, K. K., & Fazlollahi, N. (2015). The interactions among gold, oil, and stock market: Evidence from S&P500. *Procedia Economics and Finance*, 25, 478-488.

Gunduz, H. (2021). An efficient stock market prediction model using hybrid feature reduction method based on variational autoencoders and recursive feature elimination. *Financial Innovation*, 7(1), 1-24.

Güleryüz, D., Özden, E. (2020). The Prediction of Brent Crude Oil Trend Using LSTM and Facebook Prophet. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 1-9. DOI: 10.31590/ejosat.759302

Hassani, H., Silva, E. S., Gupta, R., & Segnon, M. K. (2015). Forecasting the price of gold. *Applied Economics*, 47(39), 4141-4152.

Hochreiter, S., & Uergen Schmidhuber, J. J. (1997). Long short term memory. *Neural computation*. MEMORY Neural Computation.



- Index Mundi, Gold Monthly Price- US Dollars per Troy Ounce, retrieved from <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=gold&months=120>, June 28, 2021
- Jianwei, E., Ye, J., & Jin, H. (2019). A novel hybrid model on the prediction of time series and its application for the gold price analysis and forecasting. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 527, 121454.
- Karim, F., Majumdar, S., Darabi, H., & Harford, S. (2019). Multivariate LSTM-FCNs for time series classification. *Neural Networks*.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *nature*, 521(7553), 436-444.
- Li, B. (2014). Research on WNN modeling for gold price forecasting based on improved artificial bee colony algorithm. *Computational intelligence and neuroscience*, 2014.
- Liu, D., & Li, Z. (2017). Gold price forecasting and related influence factors analysis based on random forest. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Management Science and Engineering Management* (pp. 711-723). Springer, Singapore.
- Livieris, I. E., Pintelas, E., & Pintelas, P. (2020). A CNN-LSTM model for gold price time-series forecasting. *Neural computing and applications*, 32(23), 17351-17360.
- Mensi, W., Beljid, M., Boubaker, A., & Managi, S. (2013). Correlations and volatility spillovers across commodity and stock markets: Linking energies, food, and gold. *Economic Modelling*, 32, 15-22.
- Munkhdalai, L., Munkhdalai, T., Park, K. H. O., Amarbayasgalan, T., Batbaatar, E., Park, H. W. O. O., & Ryu, K. H. (2019). An end-to-end adaptive input selection with dynamic weights for forecasting multivariate time series. *IEEE Access*.
- Nguyen, H. D., Tran, K. P., Thomassey, S., & Hamad, M. (2021). Forecasting and Anomaly Detection approaches using LSTM and LSTM Autoencoder techniques with the applications in supply chain management. *International Journal of Information Management*
- Olah, Christopher. (2015) Understanding LSTM Networks [Blog post]. Retrieved from <http://colah.github.io/posts/2015-08-UnderstandingLSTMs/>
- Organization for Economic Co-operation and Development. (2021, Feb. 4). Consumer Price Index: Total All Items for the United States [CPALTT01USM657N], Federal Reserve Bank of St. Louis, 2021. [Online]. Available: <https://fred.stlouisfed.org/series/CPALTT01USM657N>
- Parisi, A., Parisi, F., & Díaz, D. (2008). Forecasting gold price changes: Rolling and recursive neural network models. *Journal of Multinational financial management*, 18(5), 477-487
- Parmezan, A. R. S., Souza, V. M. A., & Batista, G. E. A. P. A. (2019). Evaluation of statistical and machine learning models for time series prediction: Identifying the state-of-the-art and the best conditions for the use of each model. *Information Sciences*.
- Risse, M. (2019). Combining wavelet decomposition with machine learning to forecast gold returns. *International Journal of Forecasting*, 35(2), 601-615.
- Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural networks*, 61, 85-117.
- Schuster, M., & Paliwal, K. K. (1997). Bidirectional recurrent neural networks. *IEEE transactions on Signal Processing*, 45(11), 2673-2681.
- Shafiee, S., & Topal, E. (2010). An overview of global gold market and gold price forecasting. *Resources policy*, 35(3), 178-189.
- Shen, G., Tan, Q., Zhang, H., Zeng, P., & Xu, J. (2018). Deep learning with gated recurrent unit networks for financial sequence predictions. *Procedia computer science*, 131, 895-903.
- Shen, Z., Zhang, Y., Lu, J., Xu, J., & Xiao, G. (2020). A novel time series forecasting model with deep learning. *Neurocomputing*.
- Sivalingam, K. C., Mahendran, S., & Natarajan, S. (2016). Forecasting gold prices based on extreme learning machine. *International Journal of Computers Communications & Control*, 11(3), 372-380.
- U.S. Energy Information Administration. (2021, Feb. 4). Crude Oil Prices: West Texas Intermediate (WTI) - Cushing, Oklahoma [DCOILWTICO], Federal Reserve Bank of St. Louis, 2021. [Online]. Available: <https://fred.stlouisfed.org/series/DCOILWTICO>
- Xian, L., He, K., & Lai, K. K. (2016). Gold price analysis based on ensemble empirical model decomposition and independent component analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 454, 11-23.
- Wang, Y. S., & Chueh, Y. L. (2013). Dynamic transmission effects between the interest rate, the US dollar, and gold and crude oil prices. *Economic Modelling*, 30, 792-798.
- Weng, F., Chen, Y., Wang, Z., Hou, M., Luo, J., & Tian, Z. (2020). Gold price forecasting research based on an improved online extreme learning machine algorithm. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-11.
- Yahoo Finance, S&P500, Retrieved from <https://finance.yahoo.com>, June 28, 2021
- Yazdani-Chamzini, A., Yakhchali, S. H., Volungevičienė, D., & Zavadskas, E. K. (2012). Forecasting gold price changes by using adaptive network fuzzy inference system. *Journal of Business Economics and Management*, 13(5), 994-1010.
- Yıldırım, D. C., Toroslu, I. H., & Fiore, U. (2021). Forecasting directional movement of Forex data using LSTM with technical and macroeconomic indicators. *Financial Innovation*, 7(1), 1-36.
- Zhang, P. (2003). Zhang, G.P.: Time Series Forecasting Using a Hybrid ARIMA and Neural Network Model. *Neurocomputing* 50, 159-175. *Neurocomputing*.
- Zhang, P., & Ci, B. (2020). Deep belief network for gold price forecasting. *Resources Policy*, 69, 101806.



# Türkiye’de Elektrik Tüketiminde Talep Tahmini: Zaman Serisi Ve Regresyon Analizi İle Karşılaştırma

Emine Elif Nebati<sup>1\*</sup>, Murat Taş<sup>2</sup>, Gamze Ertaş<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3950-4279), emine.nebati@izu.edu.tr

<sup>2</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: : 0000-0003-3964-536X), murat\_ttas@hotmail.com

<sup>3</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0562-6294), gamzertas98@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 21 Eylül 2021 ve Kabul Tarihi 10 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.998277)

**ATIF/REFERENCE:** Nebati, E. E., Taş, M. & Ertaş, G. (2021). Türkiye’de Elektrik Tüketiminde Talep Tahmini: Zaman Serisi Ve Regresyon Analizi İle Karşılaştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 348-357.

## Öz

Değişen Dünya koşullarında ve artan nüfusa bağlı olarak, Ülkelerin ekonomik ve sosyal süreçlerinin gelişmesinin en temel ihtiyaçlardan biri, enerjidir. Tüketimin artması sonucu, kaynakların kısıtlı olması ve sanayileşmenin de getirmiş olduğu çeşitli ihtiyaçlar, insanların taleplerinin değişmesine ve farklı sınıflara ayrılmasına neden olmuştur. Firmalar ve kurumlar bu çeşitlilik artışı sonucunda doğrudan etkilenmiş, üretim artmış ve bu sayede ülkelerde ekonomik bakımdan kalkınmıştır. Üretimde dışa bağımlılık, ürünlerin ve bazı enerji kaynaklarının önceden tahmininin yapılması arz- talep dengesi açısından son derece önem teşkil etmektedir. Elektrik enerjisinin depolanma imkânları kısıtlıdır. Bu nedenle, talep miktarına göre enerji üretimi yapılması, kritik derecede öneme sahiptir. Aksi halde talepten fazla gerçekleşen alımlarda depolama kısıtından dolayı kaynak israfına ve devletlerin borçlanması sebep olabilmektedir. geleceğe yönelik talep tahminlerinin doğru yapılması kaynakların doğru yönetilmesi bakımından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Türkiye’de ki elektrik tüketim verileri doğrultusunda, regresyon analizi ve zaman serisi tekniklerinden faydalanılarak talep tahmini analizi yapılmıştır. Elde edilen veriler sonucunda, TÜİK tarafından alınan var olan değerler ile regresyon ve zaman serisi sonucunda yapılmış olduğumuz talep tahmin sonuçlarının birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Talep Tahmini, Zaman Serisi, Regresyon, Enerji

## Demand Forecasting for Electricity Consumption in Turkey: Comparison with Time Series and Regression Analysis

### Abstract

Depending on the changing world conditions and increasing population, one of the most basic needs for the development of the economic and social processes of countries is energy. As a result of increased consumption, limited resources and various needs brought by industrialization, people's demands have changed and they have been divided into different classes. Firms and institutions have been directly affected by this increase in diversity, production has increased and countries have developed economically. Foreign dependency in production, forecasting of products and some energy resources is extremely important in terms of the balance. of supply demand. The storage possibilities of electrical energy are limited. Therefore, it is critically important to produce energy according to the amount of demand. Otherwise, more supply than demand may cause waste of resources and borrowing of states due to storage constraints. Making accurate forecasts of future demand is important for the correct management of resources. In this study, demand forecasting analysis has been made by using regression analysis and time series techniques using electricity consumption data in Turkey. As a result of the study, it has been observed that the existing values obtained by TÜİK and the demand forecast results we reached as a result of regression and time series are close to each other.

**Keywords:** Demand Forecast, Time Series, Regression, Energy

\* Corresponding Author: [emine.nebati@izu.edu.tr](mailto:emine.nebati@izu.edu.tr)

## 1. Giriş

Türkiye’de hızla büyüyen sanayi ve artan nüfus oranı ile birlikte enerji ihtiyacı da hergeçen gün artmaktadır. Dışa bağımlı olma noktasında, arz- talep dengesini sağlamak ve enerji talebinin önceden tahmin edilmesi Türkiye için son derece önemlidir. Oluşan arzın, talebe göre fazla olması durumunda enerji açığına bağlı olarak kesintiler ve çeşitli problemler yaşanacaktır. Talebin, arza göre fazla olması durumunda da depolama sorunundan kaynaklı israflara ve dış borçlanma gibi ülke politikalarını derinden etkileyebilecek sorunlara neden olmaktadır. Dolayısıyla, talep tahmini dengeyi sağlama noktasında büyük önem taşımaktadır.

Devletlerin bu noktada ekonomilerini güçlendirmek ve halkların ihtiyaçlarını karşılayabilmesi açısından gelecek dönemler için tahminlerde bulunması buna bağlı olarak ataklar ve planlar yapması kaçınılmaz bir gereksinimdir. Yapılan bu tahminlerin doğrulukları yönünde karar verme ve planlama aşamaları ülkelerin ekonomisine domino etkisi yaratarak varlıklarını sürdürebilmeleri ve büyüyebilmeleri açısından önemli rol oynamaktadır.

Her ülkenin enerji ihtiyacı vardır ve bunları karşılamak için doğal kaynakları yeterli olmayabilir. Bu yüzden oluşan enerji açığını karşılayabilmek için dışarıya bağımlı konuma gelebilmektedirler. Elektrik enerjisinin bu noktada büyük ölçüde depolanamadığından talep tahminlemesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Türkiye’de ki elektrik tüketim verileri doğrultusunda, regresyon analizi ve zaman serisi tekniklerinden faydalanılarak talep tahmini analizi yapılmıştır. Elde edilen veriler sonucunda, TÜİK tarafından alınan var olan değerler ile regresyon ve zaman serisi sonucunda yapmış olduğumuz talep tahmin sonuçlarının birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmektedir.

Çalışmada öncelikle, özellikle son yıllarda enerji alanındaki araştırmalar incelenmiştir. Sonrasında Elektrik enerjisinin de genel görünümüne yer verildikten sonra Türkiye’de ki duruma değinilmiştir. Üçüncü bölümde, araştırma metodolojisine kısaca değinildikten sonra uygulama bölümü hazırlanmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Talep tahmini, enerji, zaman serisi, regresyona yönelik literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Son yıllarda, yazındaki bazı ulusal ve uluslararası çalışmalara Tablo 1’de verilmiştir. Erdoğan (2007) çalışmasında, eşbütünleşme analizi ve ARIMA modeli ile elektrik talep tahmini gerçekleştirmiş ve analiz sonuçlarını Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı resmi verileri ile karşılaştırılmıştır. Modelde, 1923-2004 yıllarındaki elektrik tüketim değerleri (GWh) değerlendirilmiş, sonrasında model doğrulaması için 2000-2004 yıllarında, elektrik talebi tahmini yapılarak, tahmin sonuçları gerçek tüketim değerleri ile karşılaştırılmıştır (Erdoğan, 2007). Hamzaçebi (2007) çalışmasında, Türkiye’nin net elektrik tüketimini 2020 yılına kadar analiz etmiştir. Araştırmada, sektör bazında 1970-2004 aralığında yıllık elektrik tüketim değerlerini ayırmış ve yapay sinir ağı yöntemi ile modelleme kurmuştur (Hamzaçebi, 2007). Altınay (2010) çalışmasında, Türkiye için aylık toplam elektrik tüketimlerini (GWh)ve 1995-2008 yıllarındaki veriler ele alınarak, 2009 yılı için aylık talep tahmini yapmıştır. Gün uzunluğu, hava koşulları, iktisadi faaliyetler gibi mevsimsel

etkiler taşıyan tüketimin modellenmesi için bu araştırmada ARIMA modeli tercih edilmiştir. (Altınay, 2010). Demirel vd. (2010) çalışmada, 1970-2007 yılları aralığında üretilen enerji, GSMH, kurulu güç, tüketilen enerji, ve nüfus verileri ile ARIMA ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemlerini kullanmış ve talep tahmin modellerini kurmuşlardır. Kurulan modeller ile, 2006-2010 yılları arası elektrik talep tahminleri yapılmıştır (Demirel vd., 2010). Al-Hafid ve Al-maamary (2012) çalışmada, Irak’ın günlük elektrik tüketim verileri ile elektrik talep tahmini yapmışlardır. Zaman serileri analizinde Holt-Winters metodu tercih edilmiştir (Al-Hafid ve Al-maamary 2012). Kheirkhah ve diğerleri 2013 yılında, elektrik tüketimindeki hem mevsimsel hem aylık tahmin değişikliklerini analiz etmek için Yapay Sinir Ağı (YSA), Temel Bileşen Analizi (PCA), Veri Zarflama Analizi (DEA) ve ANOVA gibi çeşitli yöntemler kullanmışlardır ( Kheirkhah ve diğerleri 2013). Liu ve diğerleri 2014 yılında, sıcaklık faktörüne göre kısa vade elektrik yükü tahmini için SARIMAX ve YSA olmak üzere iki çeşit model önermiştir (Liu ve diğerleri 2014). Ozoh ve diğerleri 2014 yılında, Malezya’da bir devlet üniversitesinin verilerini kullanarak farklı değişkenler için, elektrik tüketimini 2009-2012 yıllarını için tahmin etmiştir ( Ozoh ve diğerleri, 2014). Mahmutoglu ve Öztürk (2015) çalışmalarında, 1970-2011 yıllarındaki elektrik tüketim verileri ile Türkiye için 2015-2023 yılları arası brüt elektrik talep tahmini yapmışlardır. ARMA tahmin modeli tercih edilmiştir (Mahmutoglu ve Öztürk, 2015). Hussain vd. (2016) çalışmada, 1980-2011 yılları arası günlük elektrik tüketim verileri ile sektörel olarak 2012-2020 yılları için elektrik enerji talep öngörülerinde bulunulmuştur Holter Winter ve ARIMA yöntemleri tercih edilmiştir. (Hussain vd., 2016). Karaca ve Karacan 2016 yılında, regresyon analizi ile tahminleme çalışması yapmıştır. İnternet Kullanımı, Ortalama Yaşam Beklentisi, Gayri Safi Yurt İçi Milli Hasıla gibi bazı elektrik tüketimini etkileyen faktörleri değerlendirmiştir.( Karaca ve Karacan 2016).Son ve Kim (2017) çalışmada, Kuzey Kore’nin aylık elektrik tüketimlerini tahmin etmişlerdir. Araştırmada, yazın araştırması sonucunda aylık elektrik tüketimini çeşitli ekonomik, meteorolojik, ve demografik değişkenin etkilediği sonucuna varılmıştır (Son ve Kim, 2017). Başoğlu ve Bulut 2017 yılında, Türkiye’nin kısa dönemde elektrik talep tahmini için bir sistem geliştirerek araştırma yapmışlardır. Uzman sistemler ve yapay sinir ağları bütünleşik kullanılmıştır. Gayri safi milli hâsıla, sıcaklık, sanayi üretim endeksi gibi kriterler tahmin için karşılaştırılmıştır (Başoğlu ve Bulut, 2017).Tosun ve Aydın 2018 yılındaki çalışmada, 2012- 2016 yıllarında Türkiye’de kısa dönemli elektrik tüketimi ile sıcaklık ilişkisi analiz edilmiştir. Yapay Sinir Ağı (YSA) yöntemi kullanılmıştır (Tosun ve Aydın 2018). Çiçek ve Lecuna 2019 yılındaki çalışmada, Türkiye’deki bölgeleri baz alarak elektrik tüketim etkinliğini VZA tekniği ile değerlendirmiştir. Değerlendirmede, tüketici sayısı, sanayi, aydınlatma gibi faktörleri göz önünde bulundurmıştır. Bölgeler arsında verimlilik açısından en iyi sonuç Akdeniz bölgesi olarak gözlenmiştir. Erkinay 2021 yılında, yapay sinir ağları kullanarak İskenderun için aylık enerji tüketim tahmini gerçekleştirmiş ve kurulan modelin büyük devlet tesislerinin ve özellikle yenilenebilir enerji teknoloji alanında yatırım yapanların faydalanabileceğini belirtmiştir (Erkinay Özdemir, 2021).Ülkü ve Yalçın 2021 yılındaki çalışmada, coğrafi bölgelere göre 2030 yılı için elektrik enerjisi tahmini için analiz gerçekleştirmiştir. Nüfus, eğitim durumu, gayri safi yurtiçi hasıla, ihracat gibi kriterleri değerlendirmede kullanmıştır.( Ülkü ve Yalçın 2021).

Tablo 1. 2007-2020 enerji alanında talep tahmini çalışmaları

Yıl	Yazar Soyadı	Makale adı	Yayınlandığı yer	Uygulama alanı	Çalışmanın amacı	Kullanılan yöntemi
2007	Hamzaçebi	Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases.	Energy Policy	Enerji	Türkiye’de net enerji talebinin tahmin edilmesi	YSA
2007	Erdoğan	Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: A case study of Turkey	Energy Policy	Enerji	Türkiye’ de elektrik talep tahmini yapılması	ARIMA
2008	Taylor ve Mcsharry	Short-term load forecasting methods: An evaluation based on european data	Digital Object Identifier	Enerji	10 Avrupa ülkesinin elektrik talep tahmini için Holt-Winters ve Arıma ve yöntemlerinden hangisinin daha uygun olduğunu gözlemek	ARIMA, HOLT-WINTERS
2009	Toker ve Korkmaz	Türkiye kısa süreli elektrik talebinin saatlik olarak tahmin edilmesi	Elektrik Mühendisleri Odası Sitesi	Enerji	Kısa vadeli elektrik tüketimini tahmin etmek	YSA ve ARIMA
2010	Demirel ve arkadaşları	Anfis ve Arma modelleri ile elektrik enerjisi yük tahmini	Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi	Enerji	Yıllık elektrik üretimini ve tüketimini tahmin etmek	ARMA ve ANFIS
2010	Altınay	Aylık elektrik talebinin mevsimsel model ile orta dönem öngörüsü	Enerji, Piyasa ve Düzenleme	Enerji	Aylık elektrik tüketimi	ARIMA
2012	Al-Hafid ve Al-maamary	Short term electrical load forecasting using holtwinters method.	AL Rafdain Engineering Journal	Enerji	Irak’da ki günlük elektrik tüketim verileri ile elektrik talep tahmini yapılması	Zaman Serisi Holt-Winters
2013	Kheirkhah ve diğerleri	Improved estimation of electricity demand function by using of artificial neural network, principal component analysis and data envelopment analysis	Computers Industrial Engineering	Enerji	Elektrik tüketimindeki hem mevsimsel hem aylık tahmin değişikliklerini analiz edilmesi	YSA, PCA, Veri Zarflama Analizi ve ANOVA
2014	Es ve arkadaşları	Yapay sinir ağları ile Türkiye net enerji talep tahmini	Gazi Üniversitesi	Enerji	Türkiye’de net enerji talep tahmini	Çoklu Doğrusal Regresyon YSA
2014	Ozoh ve diğerleri	Comparative Analysis of Techniques for Forecasting Electricity Consumption,	Int. Journal of Computer Applications	Enerji	Malezya’da bir üniversitenin elektrik tüketim tahmini	Zaman seisi, YSA, Değiştirilmiş Newton yöntemi
2014	Liu ve arkadaşları	Short-Term Forecasting of Temperature Driven Electricity Load Using Time Series and Neural Network Model	Journal of Clean Energy Technologies	Enerji	Elektrik yükü kısa vadeli tahmini	SARIMAX, YSA
2015	Mahmutoğlu ve Öztürk	Türkiye elektrik tüketimi öngörüsü ve bu kapsamda geliştirilebilecek politika önerileri	Gazi Üniversitesi, Ekonomik Yaklaşım Dergisi	Enerji	Türkiye’de 2015-2023 aralığında brüt elektrik talep tahmini yapılması	ARIMA
2017	Son ve Kim	Short-term forecasting of electricity demand for the residential sector using weather and social variable	Resources, Conservation and Recycling	Enerji	Konut sektöründeki bir aylık elektrik talebi tahmini için model sunmak	YSA ARIMA, Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR)
2017	Bulut ve Başoğlu	Kısa Dönem Elektrik Talep Tahminleri İçin Yapay Sinir Ağları ve Uzman Sistemler Tabanlı Hibrid Tahmin Sistemi Geliştirilmesi	Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi	Enerji	Kısa dönem elektrik talep tahminleri yaparak yeni yöntemlerle geleceğe dönük öneriler sunulması	Yapay sinir ağları, Uzman sistem( EPSİM-NN sistemi)



2016	Hussain ve arkadaşları	Forecasting electricity consumption in Pakistan: the way forward	Energy Policy	Enerji	Pakistan'da artan elektrik kesintilerinin olumsuz etkileri	Holter Winter Ve Arıma
2016	Karaca ve Karacan	Çoklu regresyon metoduyla elektrik tüketim talebini etkileyen faktörlerin incelenmesi	Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi	Enerji	elektrik talep tahminini etkileyen veriler program geliştirilerek analiz edilmesi	Basit ve Çoklu Regresyon
2018	Yüksel Haliloğlu ve Tutu	Türkiye için kısa vadeli elektrik enerjisi talep tahmini	Yaşar Üniversitesi	Enerji	Türkiye elektrik tüketimini günlük tahminleyebilecek bir model kurulması	Regresyon Analizi
2018	Aydın ve Toros	Prediction of Short-Term Electricity Consumption by Artificial Neural Networks Using Temperature Variables	Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi	Enerji	Türkiye'de elektrik tüketimi ile sıcaklık arasındaki ilişki incelenmesi	YSA
2019	Çiçek ve Lecuna	Türkiye'deki Bölgelerin Elektrik Tüketim Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi	Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi	Enerji	Türkiye'deki 7 Bölge'nin elektrik tüketimi etkinliğinin karşılaştırması	Veri Zarflama Analizi
2020	Özkan ve arkadaşları	Elektrik enerjisi tüketim verileri için uygun tahmin yöntemi seçimi	Journal of Industrial Engineering	Enerji	Enerji verilerine bakarak en uygun talep tahmin yöntemini bulmak	Fourier Analizi, En Küçük Kareler Yöntemi, Winters
2020	Jiang ve arkadaşları	Holt-Winters smoothing enhanced by fruit fly optimization algorithm to forecast monthly electricity consumption.	Energy	Enerji	Çin'in aylık elektrik tüketim verileri ile tahminleme yapılması	Meyve Sineği Algoritması, Holt-Winters yöntemi
2021	Erkınay Özdemir	Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Orta Dönem Elektrik Enerjisi Tüketim Tahmini: İskenderun Örneği	Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi	Enerji	İskenderun için aylık enerji tüketim tahmini	YSA
2021	Ülkü ve Yalpir	Enerji talep tahmini için metodoloji geliştirme: 2030 yılı Türkiye örneği	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi	Enerji	Türkiye'de şehirlere göre, elektrik enerjisi tahmini senaryolar belirlenmesi	YSA, çoklu regresyon

## 2. Türkiye'de Elektrik Enerjisi Tüketimi ve Önemi

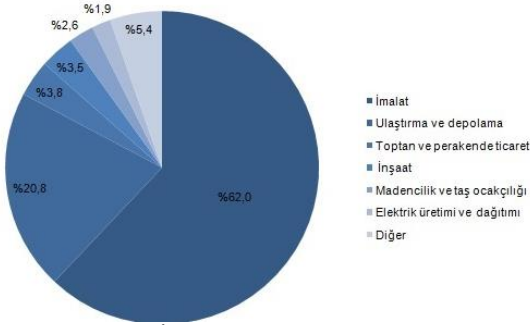
Sanayi devrimi sonrasında, hızla makineleşmenin başlaması ve enerjiye duyulan ihtiyacın her geçen gün artması, toplumları farklı enerji kaynakları aramaya yönlendirmiştir. Bu durum, ikincil enerji kaynağı olarak kabul edilen, elektrik enerjisini karşımıza getirmiştir (Alev ve Erdemli, 2019). Elektrik enerjisi; sanayileşme, ülkelerin kalkınması ve gelişmesi ile toplumsal refahı için büyük öneme sahiptir. Enerji tüketim miktarları ülkeler için gelişmişliğin bir göstergesi olmakla birlikte enerjinin üretim şekli ve yöntemi de çevresel etkileri açısından önem arz etmektedir (Ceylan, 2021).

Enerji kaynakları temelde birincil ve ikincil enerji kaynakları olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Birincil enerji kaynakları, yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar gibi doğada

bulunan kaynaklardır. Örnek vermek gerekirse, doğalgaz, petrol, güneş, rüzgâr, kömür gibi kaynaklar söylenebilir. ikincil enerji kaynakları ise, birincil yani doğal kaynakların, belli süreçlere uğrayarak işlenmesi ile ortaya çıkmaktadır. Örnek vermek gerekirse, benzin, elektrik, mazot söylenebilir. Enerji kaynakları içerisinde elektrik, birincil kaynaklardan elde edilebilmesi, kullanım esnasında çevreyi kirletmemesi, iletim kolaylığı, bölünebilir olması, tüketim alanının geniş olması gibi özellikleri ile öne çıkmaktadır (Ağır ve Kar, 2010).

Yıllar içerisinde elektrik talebindeki yükseliş, talepte yaşanan değişimler ile fiyatları da arttırmıştır. Talebin gelişimini etkileyen, saatlik, günlük, mevsimsel çeşitli faktörler bulunmaktadır. Kısa vadede, çalışma saatleri sıcaklık değişimleri ve iş günleri gibi faktörler varken, uzun vadede, enerji verimliliği, gayrisafı yurtiçi hasıla (GSYH) artış oranları, sanayi üretimi gibi hususlar talep seviyelerini belirlemede etkili olmaktadır.

Özellikle, dünyada nüfusun artması, ekonomik büyüme, kentleşmenin artması, yaşam kalitesinin yükselmesi gibi nedenlerle dünyadaki elektrik tüketimi de artış göstermektedir. Türkiye gelişen sanayisi ve artan nüfusuyla elektrik tüketim oranları her bir önceki yıla göre düzenli bir artış göstermektedir. Her sektör için tüketim oranı artmakla beraber toplam tüketimde de sektör paylarında gözle görülür derecede farklılıklar gözlemlenmektedir. Tüketim oranlarında en yüksek paya sanayi sektörü sahipken bu oranı artan şehirleşme ve gelişen altyapı ile ulaştırma ve mesken kullanımları takip etmektedir. Elektrik enerjisi depolanabilirliği bakımından, petrol doğalgaz kömür gibi madenlere göre daha zordur. 1990'lı yıllardan 2020'li yıllara kadar olan süreçte Türkiye'nin hızla büyüyen sanayisi ve artan nüfusla doğru orantılı olan şehirleşmeyle beraber altyapı iletim gücünün artmasıyla elektrik enerjisi bakımından dışa bağımlılığı olan ülke konumuna gelmiş bulunmaktaydı. Fakat artan bu enerji ihtiyacına karşılık dışa bağımlılığı azaltmak adına yapılan hidroelektrik, termik ve nükleer santraller ile %62 oranında, yerli enerji elde edebilme seviyelerine ulaşmıştır.



Şekil 1. 2020 Yılı İçin Enerji Tüketiminin Sektör Payları  
(Kaynak: EPİAŞ, 2020)

2020 yılından itibaren ise, Covid-19 pandemisinin hızlı bir şekilde yayılmasıyla birlikte hem ülkemizde hem de küresel piyasalarda elektrik talebinde dikkat çekici oranda azalmalar gözlenmiştir. Özellikle, kısıtlamalardan kaynaklı olarak, konutlarda artış gösteren tüketim oranının, ekonomik faaliyetlerdeki durgunluk sebebiyle, ticaret, sanayi, hizmetler sektörlerinde meydana gelen düşüşü karşılayamadığı gözlenmiştir. Piyasada zaten elektrik fazlası olduğu için, elektrik talebindeki bu düşüş, elektrik satış fiyatlarının daha da azalmasına neden olmuştur. Türkiye'nin elektrik üretiminde pandeminin de etkisiyle 2020 yılı Ocak ayından Mayıs ayına kadar düşüş gözlenmiştir. Sonrasında normalleşme sürecinin başlaması, ekonomik faaliyetlerde ki artış ile birlikte toparlanmanın da etkisiyle artış gözlenmiştir. İlgili dönemdeki üretim azalışı termik kaynaklı enerji santrallerinde meydana gelmiştir.

Ortalama günlük elektrik tüketimi verileri değerlendirildiğinde, 2020 yılında Nisan ve Mayıs aylarında son iki yıl için en düşük ortalama günlük tüketim miktarlarının olduğu gözlenmiştir. 2019 yılında günlük ortalama 730.000 MWh ile 860.000 MWh aralığında bir dalgalanma varken, günlük

- Trend (Uzun dönemli eğilim) (T)
- Konjonktürel (Devrimsel) dalgalanmalar (C)

ortalama elektrik tüketimi 2020 yılı Nisan ayında 637.686 MWh ve Mayıs ayında 576.438 MWh olarak gerçekleşmiştir. Bu düşüşlerdeki en büyük etkenin sanayi tesislerindeki yavaşlama olduğu belirtilmektedir. Haziran ayına gelindiğinde ise, normalleşme ile birlikte günlük ortalama elektrik tüketimi 750.000 MWh seviyelerine kadar yükselmiştir. Temmuz ve Ağustos aylarında iklim şartlarının etkisi ve normalleşme adımlarının genişlemesi ile ortalama günlük elektrik tüketimi bir önceki yılın aynı seviyelerine gelmiştir (Enerji görünümü, 2020).

### 3. Materyal ve Metot

Türkiye 'de elektrik kullanımına yönelik yapılan bu talep tahmin çalışmasında verilerin doğruluğu ve güvenilirliği çalışmanın seyri ve sonuçları açısından oldukça önemlidir. Bu yüzden çalışmada, Türkiye istatistik kurumu resmi sayfasından 1970-2019 yılları arasındaki Türkiye'de ki elektrik tüketim verileri ele alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. İki tahmin yönteminin karşılaştırılması ile izlenen metodolojinin güvenilirliğinin ölçülmesi desteklenmiştir. Seçilen metodoloji, daha önce literatürde bilinmekte sıklıkla tercih edilmektedir. Buna karşın yapılan analizin güncel olması yazına katkı sunmaktadır. Seçilen yöntemlerde tek değişkenler yerine, güçlü ilişkisi olduğu düşünülen veri setlerinin kullanılması ile daha sağlıklı sonuçlar elde edilmiştir. ARIMA, dinamik yapısı nedeniyle elektrik tüketimi tahmininde kullanılabilir en iyi modellerden biridir. Ayrıca tercih edilen yöntemlerin kullanımı kolay, göreceli olarak iyi sonuç vermekte ve kullanıcılar için anlaşılardır.

#### 3.1. Talep Tahmini

Talep tahmini, bir ürünün veya ürünlerin talebini doğru bir şekilde hesaplamaktır. Hesaplama yapmak için birçok yöntem kullanılmaktadır. Talep tahmini hemen hemen tüm sektörlerde ve iş planlamalarında karşılaşılabilecek bir kavramdır. Geniş sektör yelpazesinin bulunduğu bu zamanlarda talep tahmini işletmeler için hem mevcut durumunu geliştirmek ya da korumakta hem de karlılık oranını artırıp, zarar etmemekte büyük önem teşkil eder. Kalitatif ve kantitatif yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılır. Zaman serisi ve regresyon analizleri kantitatif yöntemlere örnek verilebilir.

##### 3.1.1. Zaman Serisi Analizi

Belirli bir zaman aralığında bir veya birden çok değişimin ölçülmesiyle bulunan dizili veri grubuna "zaman serisi" denir. Zaman serileri sayesinde, eskiye dönük bulgulardan gelen sonuçlar kullanarak gelecek zamanı tahmin etmek mümkündür. Zaman serileri, birçok zaman faktörünün etkisi altında dalgalanır. Bu dalgalanmalar; ekonomi, toplum, nüfus, psikoloji vb. gerçeklerden dolayı, çeşitli faktörler farklı doğrultuda ve yoğunluklarda etkileyecektir. Zaman serisinin en temel niteliği, gözlemlerdeki değişikliklerin genellikle bu faktörlerin bir kombinasyonunun sonucu olmasıdır. Bu faktörler aşağıdaki dört ana gruba ayrılabilir.

- Mevsimsel dalgalanma (S)
- Tesadüfi dalgalanmalar (I)

Yukarıda verilmiş olan faktörlere ait zaman serisinin yaygın olarak aşağıdaki denklem 1 ile gösterilebiliriz:

$$Y = T + S + C + I \quad (1)$$

Zaman serisinin gelecekteki değerini tahmin etmek için kullanılan yöntem; bu, tahminin amacına, zaman serisinin türüne ve öğelerine, geçmiş verilerin miktarına ve tahmin süresinin genişliğine göre değişiklik gösterebilir. Günümüzde geliştirilmiş yazılımlar sayesinde en uygun yöntem otomatik olarak belirlenebilmektedir. Zaman serileri analizinde şimdiye kadar kullanılan yöntemler aşağıda gösterilmiştir;

- Box-Jenkins (ARIMA)
- Üstel Düzleştirme
- Hareketli Ortalamalar
- Mekanik Tahmin
- Uyarlayıcı Arındırma
- Trend Analizi
- Mevsimsel Dalgalanmalar ve Trende Oranlama Yöntemi

### 3.1.2. Regresyon

Karma yöntemler içerisinde bulunan regresyon analizi ile bir değişkenin (bağımlı ya da bağımsız) gelecekteki durumunu tahmin etmenin yanı sıra bir ya da birden daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi matematiksel model olarak yazılmasıdır. Bağımsız değişken (etken değişken, açıklayıcı değişken, bağımlı değişkeni etkilediği düşünülen değişkendir Bağımlı değişken (yanıt değişkeni, açıklanan değişken, sonuç değişkeni) bağımsız değişkenden etkilendiği kabul edilen değişkendir. (Yergök ve Acı, 2019).

Bu analiz yönteminde; bir bağımsız kullanılarak analiz yapılıyorsa buna tek değişkenli regresyon diğer bir deyişle basit regresyon, birden fazla bağımsız kullanılarak analiz yapılıyorsa çok değişkenli regresyon analizi diye adlandırılır. Regresyon

Tablo 2. Elektrik tüketim miktarları ve bağımsız değişken veri tablosu (Kaynak: TÜİK 2019)

Yıl	Tüketim(Gwh)	Nüfus	Kişi Başı Gelir(\$)	Satılan Konut Sayısı	Beyaz Eşya Sayısı	İş Yeri Sayısı
2007	155135,00	70586256,00	9656,00	327000,00	6215997,00	2581823,00
2008	161948,00	71517100,00	10931,00	427105,00	6121842,00	2617436,00
2009	156894,00	72561312,00	9039,00	555184,00	6324802,00	2631085,00
2010	172051,00	73722988,00	10560,00	607098,00	6439761,00	2678787,00
2011	186100,00	74724269,00	11205,00	708275,00	6728520,00	2737278,00
2012	194923,00	75627384,00	11588,00	701621,00	6839646,00	2800060,00
2013	198045,00	76667864,00	12519,00	1157190,00	6956821,00	2847725,00
2014	207375,00	77695904,00	12112,00	1165381,00	6970878,00	2888180,00
2015	217312,00	78741053,00	11019,00	1289320,00	7090051,00	2941233,00
2016	231203,70	79814871,00	10883,00	1341453,00	7469796,00	2981381,00
2017	249022,60	80810525,00	10602,00	1409314,00	8533013,00	3100412,00
2018	258232,00	82003882,00	9632,00	1375398,00	7110193,00	3160371,00
2019	257273,10	83154997,00	9042,00	1348729,00	6655155,00	3198286,00

Elde edilen sayısal veriler sonucunda Excel sayfamızda yer alan Veri sekmesindeki veri çözümlemesinden regresyonu

analizinde, belirli aralıktaki geçmiş dönem verileri ile bazı formüller geliştirilir. Geçmiş veriler ne kadar sürekli ve düzenli ise tahminlerin tutarlılık oranı da o kadar yüksektir. Fakat, bağımsız değişken değerleri farklılık ve düzensizlik gösteriyorsa, tahmin hatası da yüksek olacaktır. İki değişkenin arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu varsayılırsa, denklem 2 şeklinde gösterilir ve bağımsız değişkenin değeri yerine yerleştirilerek tahmin değeri elde edilir.

$$(Y= a + bx) \quad (2)$$

### 3.2. Verilerin Elde Edilmesi

TÜİK'ten (Türkiye İstatistik Kurumu) almış olduğumuz 1970-2019 yılları arasındaki Türkiye'deki elektrik tüketim oranlarını referans olarak incelenmiştir. Verilerin analiz edilmesinde; E-views ve Microsoft Excel programları tercih edilmiştir.

### 3.3. Regresyon Modelinin Oluşturulması

Öncelikle 2007-2019 arasındaki TÜİK'den elektrik tüketim verileri elde edilmiştir. Elde edilen veriler üzerinde elektrik tüketimini etkileyebilecek olan değişkenler belirlenmiştir. Nüfus, konut sayısı, kişi başına düşen milli gelir, beyaz eşya kullanımı ve

iş yeri sayılarının elektrik tüketimi üzerinde değişiklikler sağlanacağını düşünüldüğünden, bu veriler bağımsız değişken olarak belirlenmiştir.

seçerek veriler arasında regresyon analizinin yapılması sağlanmıştır. Yapılan denemeler sonucunda gerçeğe en yakın ve

R<sup>2</sup> değerinin en yüksek sonucunu veren formülün beyaz eşya kullanımı ve iş yeri sayısı arasında olduğu belirlenmiştir.

ÖZET ÇIKIŞI

Regresyon İstatistikleri	
Çoklu R	0,996477421
R Kare	0,992966725
Ayarlı R Kare	0,990623
Standart Hata	3597,677423
Gözlem	13

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	3	16480307388	5,493427929	423,5757	5,29163E-10
Fark	9	116502497,6	12844722		
Toplam	12	1665670885			

	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük 95,0%	Yüksek 95,0%
Kesişim	-304683,2798	48513,9827	-6,28033	0,000144	-414428,9832	-194937,4763	-414428,9832	-194937,4763
NÜFUS	-6,80301E-05	0,002132333	-0,0319	0,975245	-0,004891702	0,004755641	-0,004891702	0,004755641
İŞ YERİ SAYISI	0,169478915	0,041300546	4,103551	0,002663	0,076050589	0,262907241	0,076050589	0,262907241
BEYAZ EŞYA SAYISI	0,000420034	0,002246217	1,869962	0,094304	-0,000680965	0,000281635	-0,000680965	0,000281635

FARK ÇIKIŞI

Gözlem	Öngörülen TÜKETİM(GWH)	Farklar
1	154188,1403	946,8596651
2	159764,9845	2183,015515
3	162859,6653	-595,665343
4	171347,9865	703,0135261
5	182405,7464	3694,253592
6	193451,2098	1471,700353
7	201950,903	-3905,90295
8	208796,2789	-1421,278947
9	218217,1093	-905,1093095
10	226543,355	4690,349302
11	251114,7382	-2092,138164
12	255219,0124	3012,987622
13	259655,1806	-2382,08061

Şekil 2. Regresyon Analizi Sonucu

Şekil 2'ye göre Beyaz Eşya Kullanım Miktarı ve İş Yeri Sayısı'nın P değerinin 0.05'ten düşük olması bu değişkenlerin, bağımlı değişken olan elektrik tüketimine etkisi olduğunu göstermektedir. Elimizdeki verileri Excel dosyası üzerine işleyerek 'Veri' sekmesinden veri çözümleme kısmına girip regresyon formülünü seçtikten sonra Excel'in otomatik olarak bize regresyon sonuçlarını verdiği söylenebilir. Bağımsız değişkenlerimiz kullanılan beyaz eşya sayısı ve iş yeri sayısıdır. Bu değişkenlerinde ileri zamanlı talep tahmini yapılmıştır. Katsayıların altındaki rakamlar bize değişkenlerimizin formüldeki katsayılarını ve sabit sayısını vermektedir. Bu doğrultuda ilerleyerek regresyon denklemi (3) oluşturulmuştur.

$$\text{Tüketilen elektrik miktarı} = -306161,640 + 0,00419643 * \text{Beyaz eşya sayısı} + 0,168179 * \text{İş yeri sayısı} \quad (3)$$

Denklem 3'ü kurduktan sonra talep tahmin yapılması mümkündür. İleri zamanlı öngörmüş olduğumuz beyaz eşya ve iş yeri sayılarını formülde yerine yazıldığında çıkan sonuç, o yıla ait olan elektrik tüketim miktarının tahminini vermektedir. Talep tahmini 2035 yılı için hesapladığımızda; elde edilen bilgiler Tablo 3, Şekil 3 ve Şekil 4' de paylaşılmıştır.

Tablo 3. 2035 yılı için talep tahmini sonucu

Yıl	Beyaz eşya sayısı	İş yeri sayısı	Tahmin
2007	6215997	2581823	154132
2008	6121842	2617436	159726,3
2009	6324802	2631085	162873,5
2010	6439761	2678787	171378,4
2011	6728520	2737278	182427,1
2012	6839646	2800060	193452
2013	6956821	2847725	201960
2014	6970878	2888180	208822,7
2015	7090051	2941233	218245,2
2016	7469796	2981381	226590,8
2017	8533013	3100412	251071,1
2018	7110193	3160371	255184,2
2019	6655155	3198286	259651,1
2020	6766989	3253965	269484,5

2021	6853192	3307805	278901
2022	6922734	3362130	288329,1
2023	7213137	3412933	298091,8
2024	7344786	3467985	307902,9
2025	7394986	3522742	317322,5
2026	7448776	3577600	326774,2
2027	7504438	3632653	336266,5
2028	7556580	3687523	345713,3
2029	7604055	3742437	355147,9
2030	7656725	3797369	364607,4
2031	7700260	3852314	374030,7
2032	7752513	3907269	383492,2
2033	7804746	3962231	392954,9
2034	7856715	4017198	402417,3
2035	7908648	4072170	411880,3

ÖZET ÇIKIŞI

Regresyon İstatistikleri	
Çoklu R	0,996477022
R Kare	0,992966455
Ayarlı R K:	0,991559745
Standart H	3413,439228
Gözlem	13

ANOVA

	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	2	1,6449E+10	8,22E+09	705,879	1,72E-11
Fark	10	116515674	11651567		
Toplam	12	1,6566E+10			

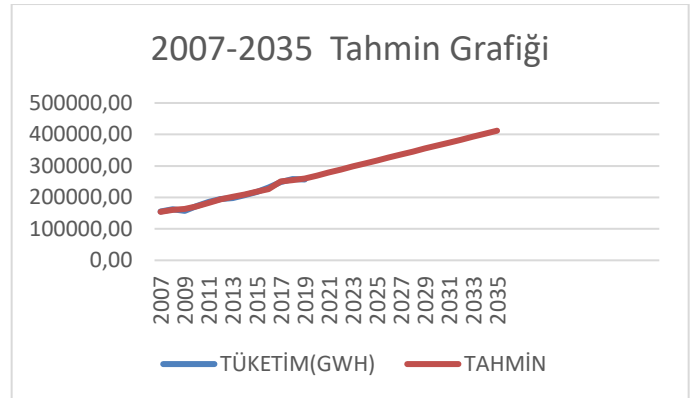
	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük 95,0%	Yüksek 95,0%
Kesişim	-306161,64	13674,167	-22,3898	7,1E-10	-336630	-275694	-336630	-275694
BEYAZ EŞ	0,004196436	0,0021279	1,972099	0,076876	-0,00054	0,008938	-0,00054	0,008938
İŞ YERİ S.	0,168179092	0,00642479	26,17658	1,52E-10	0,153864	0,182494	0,153864	0,182494

FARK ÇIKIŞI

Gözlem	İlen TÜKETİM	Farklar	
1	154132,0405	1002,95952	0,650714
2	159726,2871	2221,71292	1,39095
3	162873,4721	-5979,4721	-3,67124
4	171378,3692	672,630764	0,392483
5	182427,0911	3672,90888	2,013357
6	193452,044	1470,95599	0,760372
7	201960,0178	-3915,0178	-1,93851
8	208822,6923	-1447,6923	-0,69326
9	218245,1995	-933,1995	-0,42759
10	226590,8292	4612,8708	2,035771
11	251071,0766	-2048,4766	-0,8159
12	255184,154	3047,84597	1,194371
13	259651,1266	-2378,0266	-0,91585

-0,02434

Şekil 3. Regresyon Analizi Sonucu



Şekil 4. 2007-2035 yılları arasındaki regresyon analizi yöntemine göre talep tahmin grafiği



Tablo 4. Regresyon Analizi Hata Değerleri

0,169755	Hata
0,013058	Ortalama hata
1,305804	Mape

### 3.4. Zaman serisi Eview Ortamında Modelin Oluşturulması

Eviews programında, yeni dosya oluşturulduktan sonra, 1970-2019 arasındaki TÜİK'den alınan elektrik tüketim verileri programa aktarılmıştır. Oluşan dosyaya Eviews otomatik olarak ser01 adlı bir isim vermiştir. Bu ser01 dosyası açıldığında, sekmede Proc sekmesi kullanılarak, Automatic ARIMA Forecasting seçeneği ile Şekil 5'de görüldüğü üzere, modelimizin p, d, q yani AR-I-MA değerleri hesaplanmıştır.

View	Proc	Object	Properties	Print	Name	Freeze	Sample	Genr	Sheet	Graph	Stats	Ident
Automatic ARIMA Forecasting												
Selected dependent variable: DLOG(SER01,2)												
Date: 06/11/21 Time: 17:46												
Sample: 1970 2035												
Included observations: 48												
Forecast length: 0												
Number of estimated ARMA models: 16												
Number of non-converged estimations: 0												
Selected ARMA model: (1,3)(0,0)												
AIC value: -3.71186701914												

Şekil 5. Otomatik Arıma Ölçüm Sonuçları (p,d,q değerleri)

Şekil 5'te ki Dependet variable bize almamız gereken farkın 2 olduğunu belirtmektedir. ARMA modeli ise bize p ve q değerlerini verir. Buradan sonuç olarak çıkan; q değerinin 3 olduğu ve aynı zamanda p değerinin de 0 olduğu görülmektedir. Bu çıkan değerlere göre, komut verilmesi gerekmektedir. Aşağıda şekil 6' da yer alan komut sonucunda ise, program bizlere test sonuçlarını göstermektedir.

View	Proc	Object	Print	Name	Freeze	Estimate	Forecast	Stats	Resids
Dependent Variable: D(SER01,2)									
Method: ARMA Maximum Likelihood (BFGS)									
Date: 06/11/21 Time: 17:55									
Sample: 1972 2019									
Included observations: 48									
Convergence achieved after 9 iterations									
Coefficient covariance computed using outer product of gradients									
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.					
C	154.5685	216.4209	0.714203	0.4789					
MA(2)	-0.363275	0.197585	-1.939799	0.0588					
MA(3)	-0.359166	0.288301	-1.338665	0.1876					
SIGMASQ	19373178	2169180.	8.931108	0.0000					
R-squared	0.154915	Mean dependent var	-40.41667						
Adjusted R-squared	0.097295	S.D. dependent var	4838.623						
S.E. of regression	4597.214	Akaike info criterion	19.80327						
Sum squared resid	9.30E+08	Schwarz criterion	19.95921						
Log likelihood	-471.2785	Hannan-Quinn criter.	19.86220						
F-statistic	2.688579	Durbin-Watson stat	2.767101						
Prob(F-statistic)	0.057863								
Inverted MA Roots	.89	-.44-.46i	-.44+.46i						

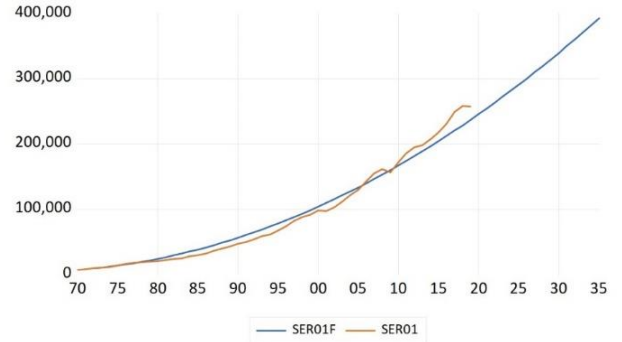
View	Proc	Object	Print	Name	Freeze	Estimate	Forecast	Stats	Resids
Forecast: SER01F									
Actual: SER01									
Forecast sample: 1972 2035									
Adjusted sample: 1972 2035									
Included observations: 64									
Root Mean Squared Error 10469.19									
Mean Absolute Error 8395.748									
Mean Abs. Percent Error 11.63134									
Theil Inequality Coef. 0.043824									
Bias Proportion 0.006603									
Variance Proportion 0.552125									
Covariance Proportion 0.441272									
Theil U2 Coefficient 1.856945									
Symmetric MAPE 10.82787									

Şekil 6. p,d,q değerlerine göre E-views formülasyon hesaplamaları

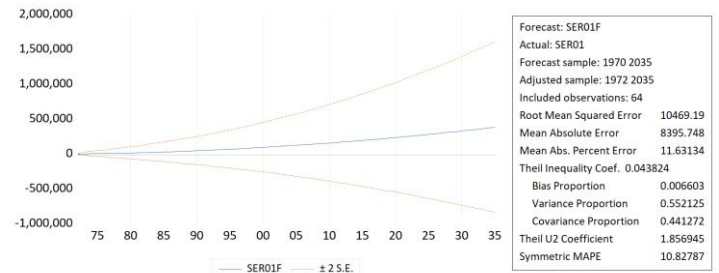
Şekil 6'da forecast sekmesinde açılan ekranda tahmin yapmak istediğimiz yıl aralıklarını girerek ileriye dönük talep tahminlerimiz, buna bağlı olarak grafikler ve hata değerleri Tablo 5, Şekil 7, Şekil 8'de elde edilmiştir.

	SER01F	SER01
2000	103975.3	98296
2001	109593.4	97070
2002	115366.0	102948
2003	121293.2	111766
2004	127374.9	121142
2005	133611.3	130263
2006	140002.2	143071
2007	146547.6	155135
2008	153247.7	161948
2009	160102.3	156894
2010	167111.5	172051
2011	174275.2	186100
2012	181593.5	194923
2013	189066.4	198045
2014	196693.8	207375
2015	204475.8	217312
2016	212412.4	231204
2017	220503.6	249023
2018	228749.3	258232
2019	237149.6	257273
2020	245704.5	NA
2021	254413.9	NA
2022	263277.9	NA
2023	272296.4	NA
2024	281469.6	NA
2025	290797.3	NA
2026	300279.5	NA
2027	309916.4	NA
2028	319707.8	NA
2029	329653.8	NA
2030	339754.3	NA
2031	350009.4	NA
2032	360419.1	NA
2033	370983.3	NA
2034	381702.2	NA
2035	392575.5	NA

Tablo 5. 2000- 2035 yılları arasındaki E-views tahmin sonuçları



Şekil 7. 1970-2035 yılları arasındaki zaman serisi analizi yöntemine göre elektrik tüketim talep tahmin ve gerçek veriler



Şekil 8. Tahmin ve gerçek değerler grafiği (Hata Değerleri)

## 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Talep tahmin yöntemleri ile geçmiş dönem verilerinden faydalanılarak gelecek dönemler için uzun veya kısa vadeli

tahminler ile kurumların yönünü belirlemede, şirketlerin varlıklarını, vizyonlarını ve müşterilerin ihtiyaçlarını karşılaması doğrultusunda aktif rol oynadığı bilinmektedir. Bu nedenle sağlıklı öngörülerde bulunmanın veya belirsiz gelecek koşullarını tahmin etmenin, alınacak kararların doğruluğu açısından oldukça önemli olduğu söylenebilir.

Bu araştırmanın amacı, talep tahmini üzerine şimdiye kadar yapılan araştırmaları göz önünde bulundurarak, geçmiş dönem elektrik tüketim verilerini referans alarak ileriye dönük tahminler yapmaktır. Buradaki tahminlerin önemliliği elektriğin fazla miktarda depolanamadığından ve ileriye dönük tüketim tahminlerini baz alarak ihtiyaca göre önceden aksiyon alabilme imkanı sunmakta ve bu aksiyon doğrultusunda büyük güç santralleri, elektrik jeneratörleri ve rüzgar gülleri gibi elektrik üretim aşamalarının önceden planlanarak uygulanmasını sağlamaktadır.

1970-2019 elektrik tüketim verileri kullanılarak tüketici talep tahmini analizi yapılmıştır. Bu veriler ile Excel üzerinde beyaz eşya kullanım sayısı ve iş yeri sayısının elektrik tüketimi arasındaki bağıllık oranı hesaplanarak regresyon analizi ve 2035 yılına kadar tüketilebilecek elektrik miktarı hesaplanmıştır. Aynı veriler doğrultusunda Eviews programında da ARIMA'nın IMA modeli kurulmuştur. Kurulan bu model üzerinden 2035 tahminlerinde bulunulmuştur. Regresyon analizi ve zaman serisi grafiklerini karşılaştırma imkânı sunulmuştur (Tablo 6).

Tablo 6. Regresyon analizi ve zaman serisi karşılaştırmalı hata değerleri grafiği

	Regresyon Sonuçları	Zaman Serisi Sonuçları
<b>MSE</b>	0,169755	10469,19
<b>MAPE</b>	1,305804	11,63134
<b>MAE</b>	0,013058	8395,748

MAPE kriteri yüzdesel olarak tahmin hatalarını belirtmesi ve yalnız kullanılabilir olması sebebi ile, diğer kriterlere üstünlüğü varsayılmaktadır. Bu yüzden sonuç değerlendirmelerinde MAPE değerlerinin karşılaştırması üzerinden değerlendirmelere geniş yer verilmiştir. Regresyon Analizi sonucumuzu ele alarak, yüksek  $R^2$  değerine sahip olması elde etmiş olduğumuz formülün güvenilir olduğunu bize söylemektedir. Ayarlı  $R^2$  değerinin 0,99156 olması beyaz eşya ve iş yeri sayılarının elektrik tüketimindeki değerlerini %99,156 değerinde etkilemektedir. Bağımsız değişkenlerimizin P değerlerinin %5 ten küçük olması bağımlı değişken üzerinde etkili olduklarını göstermektedir. Zaman Serisi sonuçları ele alırsa, Şekil 8'de yer alan MAPE değerinin %10'un altında olan modellerde yüksek doğruluk derecesi olduğu bilinmektedir. Yapmış olduğumuz zaman serisinde bu değer 11.63 olduğu gözlemlenmektedir. Mape değerinin %10 ile %20 arasında olması doğru tahmin modelleri arasında sınıflandırıldığından analiz sonucumuza göre kabul edilebilir ve doğru tahmin modeli olarak ele alınabilmektedir. Fakat Regresyon analizindeki MAPE değerinin doğruluk oranı zaman serisine göre daha fazla olduğu için yapmış olduğumuz çalışmada zaman serisi analizinin gerçek değerlere en yakın yüksek derecede verimli sonuçlar elde edildiği kanısına varılmıştır. Tablo 4 ve Şekil 8'de analiz sonuçlarına göre, regresyon analizinin MAPE değeri %1.30 iken, zaman serisinde bu oran %11.63'tür. Buda regresyon analizi tahmin değerlerinin uygulanabilirlik açısından daha doğru sonuçlar vereceğini bize göstermektedir. Yapmış olduğumuz bu çalışmada regresyon ve

zaman serisi analizleri sonucunda 2035 yılında regresyon analizi tahminine göre tüketilecek olan elektrik miktarı 411880 GWh iken, zaman serisine göre bu sayı 392575.5 GWh'tır. TÜİK tarafından alınan var olan değerler ile regresyon ve zaman serisi sonucunda yapmış olduğumuz talep tahmin sonuçlarının birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmektedir. Mevcut değer ile regresyon ve zaman serisi analizi çalışması sonrasında, birbirine yakın değerler elde etmemiz kullandığımız yöntemlerin bizi doğru sonuca ulaştırmada etkili olduğu gözlemlenmektedir.

Yapılan talep tahmini sonuçlarımıza bakarak öneride bulunmamız gerekirse, yapılan talep tahminlerinin ilerleyen dönemlerde gerçekleşen veriler ile karşılaştırarak yapılan tahminlerin tutarlılığı kontrol edilmelidir. Yapılan tahminlerin tutarlılığından emin olduktan sonra ileriye yeni santral ihtiyaçları belirlenmeli ve gerekli aksiyonlar alınmalıdır. Tüketim konusunda insanların bilinçlendirilmesi ve kaynakların doğru kullanılması ve israfın önlenmesi amaçlanmalıdır. Bakanlık tarafından açıklanan Türkiye'nin 2019 yılı elektrik tüketiminin 257273,1 GWh olduğu bilinmektedir. Bu rakamın önümüzdeki yıllarda düşürülebilmesi için bu bağlamda, Türkiye elektrik piyasasındaki elektrik tüketim tahminine dikkat edilmesi, ilerleyen zamanlar için daha etkili planların yapılması, elektrik sektöründeki kayıp kaçaklarla etkin bir şekilde mücadele edilmesi elektrik üretim kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve kalkınmanın önünün açılması önemle arz etmektedir.

## Kaynakça

- Ağır, H. & Kar, M., 2010, "Türkiye'de elektrik tüketimi ve ekonomik gelişmişlik düzeyi ilişkisi: yatay kesit analizi". Sosyoekonomi, 6(12), 149-175.
- Alev, N. & Erdemli, M., 2019, "Elektrik enerjisi tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: avrupa birliği ülkeleri ve türkiye için bir analiz", Assam Uluslararası Hakemli Dergi, 6 (15) , 88-111 .
- Altınay, G., 2010, "Aylık Elektrik Talebinin Mevsimsel Model ile Orta Dönem Öngörüsü.", Enerji, Piyasa ve Düzenleme: 1-23.
- Al-Hafid, M. S., & Al-maamary, G. H. (2012). Short term electrical load forecasting using holtwinters method. AL Rafdain Engineering Journal, 20(6), 15-22.
- Bulut, M. & Başoğlu, B. (2017). Kısa Dönem Elektrik Talep Tahminleri İçin Yapay Sinir Ağları ve Uzman Sistemler Tabanlı Hibrid Tahmin Sistemi Geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32 (2)
- Ceylan, H., (2021). Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulamalarında Enerji Sektörü Analizi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (27), 237-242.
- Çiçek, C., & Lecuna, H. K. S. (2019). Türkiye'deki Bölgelerin Elektrik Tüketim Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 2(2), 27-48.
- Demirel, Ö., Kakilli, A., & Tektaş, M., 2010, "ANFIS ve ARMA modelleri ile elektrik enerjisi yük tahmini", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi: 601-610.
- Enerji görünümü, 2020. Son Erişim tarihi: 07.09.2021. <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2020.pdf>.
- Es, H. A., Kalender F., & Hamzaçebi, Ç., 2014, "Yapay sinir ağları ile Türkiye net enerji talep tahmini", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(3), 495 - 504

- Erdoğdu, E., 2007, "Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: A case study of Turkey." *Energy Policy* 35: 1129-1146.
- Erkınyay Özdemir, M. (2021). Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Orta Dönem Elektrik Enerjisi Tüketim Tahmini: İskenderun Örneği . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , Ejosat Special Issue 2021 (ICAENS) , 489-492 .
- Hamzaçebi, C., 2007, "Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases", *Energy Policy*, cilt 35, ss. 2009-2016.
- Hussain, A., & Rahman, M., & Memon, J. A., 2016, "Forecasting electricity consumption in Pakistan: the way forward," *Energy Policy*, Elsevier, vol. 90(C), pages 73-80.
- Jiang, W., Wu, X., Gong, Y., Yu, W., & Zhong, X., 2020, "Holt-Winters smoothing enhanced by fruit fly optimization algorithm to forecast monthly electricity consumption", *Energy*, 193, 116779.
- Karaca, C., & Karacan, H. (2016). Çoklu regresyon metoduyla elektrik tüketim talebini etkileyen faktörlerin incelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(3), 182-195.
- Kheirkhah, A., Azadeh, A., Saberi, M., Azaron, A., & Shakouri, H. (2013). Improved estimation of electricity demand function by using of artificial neural network, principal component analysis and data envelopment analysis. *Computers & Industrial Engineering*, 64(1), 425-441.
- Liu, N., Babushkin, V., & Afshari, A. (2014). Short-term forecasting of temperature driven electricity load using time series and neural network model. *Journal of Clean Energy Technologies*, 2(4), 327-331.
- Mahmutoğlu, M., & Öztürk, F. (2015), "Türkiye elektrik tüketimi öngörüsü ve bu kapsamda geliştirilebilecek politika önerileri", In *EY International Congress on Economics II (EYC2015)*, November 5-6, 2015, Ankara, Turkey (No. 239). *Ekonomik Yaklaşım Association*.
- Ozoh, P., Abd-Rahman, S., Labadin, J., & Apperley, M. (2014). A comparative analysis of techniques for forecasting electricity consumption. *International journal of computer applications*, 88(15).
- Özkan, E. , Güler, E. & Aladağ, Z. (2020). Elektrik enerjisi tüketim verileri için uygun tahmin yöntemi seçimi . *Endüstri Mühendisliği*,31(2),198-214.
- Son, H., & Kim, C., 2017, "Short-term forecasting of electricity demand for the residential sector using weather and socialvariables", *Resources, conservation and recycling*, 123, 200-207.
- Taylor, J. W., & McSharry, P. E., 2008, "Short-term load forecasting methods: An evaluation based on european data", *IEEE Transactions on Power Systems*, 22(4), 2213-2219.
- Toker, A.C., & Korkmaz, O., 2009, ""Türkiye kısa süreli elektrik talebinin saatlik olarak tahmin edilmesi.", Erişim tarihi: 07 Eylül 2021.
- Toros, H. & Aydın, D. (2018). Prediction of Short-Term Electricity Consumption by Artificial Neural Networks Using Temperature Variables . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (14) , 393-398 .
- Ülkü, H. & Yalpır, Ş. (2021). Enerji talep tahmini için metodoloji geliştirme: 2030 yılı Türkiye örneği . *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10 (1) , 188-201.
- Yergök, D. & Acı, M. (2019). Toplu Yemek Üretiminde Günlük Talep Tahmini için Alternatif Bir Yaklaşım: Öğrenci Regresyon. *European Journal of Science and Technology*, (Özel Sayı), 64-73.
- Yüksel Haliloğlu, E. & Tutu, B. E., 2018, "Türkiye için kısa vadeli elektrik enerjisi talep tahmini", *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi* , 13 (51) , 243-255 .



# The Effect of Using the Fire-Brick Fragments as a Thermal Energy Storage Material on Thermal Efficiency of Solar Air Heater

Ahmet Süslü<sup>1\*</sup>, Recep Külcü<sup>2</sup>, Can Ertekin<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4016-589X), [mail@ahmetsuslu.com](mailto:mail@ahmetsuslu.com)

<sup>2</sup> Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7185-6514), [recepkulcu@isparta.edu.tr](mailto:recepkulcu@isparta.edu.tr)

<sup>3</sup> Akdeniz University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Antalya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2987-2438), [ertekin@akdeniz.edu.tr](mailto:ertekin@akdeniz.edu.tr)

(First received 21 September 2021 and in final form 6 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.997956)

**ATIF/REFERENCE:** Süslü, A., Külcü, R., & Ertekin, C. (2021). The Effect of Using the Fire-brick Fragments as a Thermal Energy Storage Material on Thermal Efficiency of Solar Air Heater. European Journal of Science and Technology, (31), 358-364.

## Abstract

The hot air needed in applications such as drying agricultural products and space heating can be obtained with air-heated solar collectors. Air has a lower heat transfer coefficient than water. Using storage materials with increased surface area in air-heated solar collectors provides both obtaining higher temperatures output air and increased the total efficiency of the collector by storing energy. Refractory materials such as fire bricks have low thermal conductivity and high thermal capacities. In this study, the effects of refractory fire-brick fragments which are a kind of refractory in storage and reuse of thermal energy on collector efficiency were investigated. Fire brick fragments of different densities were applied into the solar air heater collector and their thermal efficiencies were compared during under radiation and cooling.

**Keywords:** Solar Air Heater, Thermal Energy Storage, Fire Brick Fragments.

## Ateş Tuğlası Parçalarının Güneş Enerjili Hava Isıtıcılarında Isıl Enerji Depolama Malzemesi Olarak Kullanılmasının Isıl Verimliliğine Etkisi

### Öz

Tarım ürünlerinin kurutulması ve mekân ısıtması gibi uygulamalarda ihtiyaç duyulan sıcak hava, hava ısıtıcılı güneş kolektörleri ile elde edilebilmektedir. Suya göre, havanın ısı transfer katsayısı daha düşüktür. Bu sebeple hava ısıtıcılı güneş kolektörlerinde yüzey alanı artırılmış depolama malzemeleri kullanılarak hem daha yüksek sıcaklıklarda hava elde edebilmekte hem de enerjinin depolanması sağlanarak kolektörün toplam verimi artırılabilir. Ateş tuğlaları gibi yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzemeler, düşük ısı iletkenliğine ve yüksek ısı kapasitelerine sahiptirler. Bu çalışmada, depolama ve ısı enerjinin tekrar kullanımında bir tür refrakter olan ateş tuğlasına ait parçalar kolektör içerisine yerleştirilerek, kolektörün verimi üzerine etkileri incelenmiştir. Hava ısıtıcılı güneş kolektörüne farklı miktarlarda ateş tuğlası parçaları uygulanmış, ışınım altında ve soğutma sırasında ısı verimleri karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hava Isıtıcılı Güneş Kolektörü, Isıl Enerji Depolama, Ateş Tuğlası Parçaları.

\* Corresponding Author: [mail@ahmetsuslu.com](mailto:mail@ahmetsuslu.com)



# 1. Introduction

Mankind realized that using of solar energy is in his benefit ages ago. Greek historian Xenophon's 'Memorabilia' named work recorded that the Greek philosopher Socrates's (470 -399 BC) in order to have cool dwellings in summer and warm dwellings in winter, that the south-facing sides should be built higher [1, 2]. Solar thermal collectors used for different applications such as solar water heating, space heating and cooling, solar refrigeration, industrial process heat, solar desalination, solar thermal power and simultaneous electricity and heat generation [3]. Hot water solar collectors are most commonly used panel type in Turkey. In addition to hot water, solar air heaters have been developed in order to meet required hot air [4]. The use of solar air heater (SAH) has become widespread where dwellings heating, drying of agricultural products and medium and low temperatures are needed in many applications [5, 6, 7]. SAHs are used due to their rare maintenance and simple structure [8]. Solar air heaters can be classified as in Figure 1 [9]. While sensible heat based SAHs are suitable option for low temperature solar thermal systems, latent heat storage in phase change materials (PCMs) is also the most suitable solution for thermal energy storage due to their high latent heat. In addition, energy storage in SAHs is an effective design to yield a higher and more stable output compared to conventional SAHs [10, 11, 12].

sensible or thermochemical materials used in the storage of heat energy [13, 14, 15]. The storage of thermal energy has been used for a long time. There are plants that produce electricity from concentrating solar power, for the generation of electricity needed when solar radiation cannot reach the earth [16, 17]. Although SAH applications are highly efficient, the heat transfer between the absorber surface and the fluidized air is low. With this motivation many researchers have studied to increase the thermal efficiency of SAHs by increasing the convective area with artificial roughness and barrier fins of different geometries. Nowadays, the studies on the subject have increased in bringing together designs that have enhanced storage and heat conduction [18, 19, 20, 21]. Generally, the choice of material to store energy is related to the end use scope and method of using the energy. An energy storage system be able to evaluate in terms of capacity, charge and discharge time, reusability, efficiency and cost. However, a solar air heater can be designed using less material, even using some non-commercial value scrap [7, 15].

Saravanakumar and Mayilsamy, studied the mixed thermal storage material and found that the gravel with iron scraps gives better %10-20 efficiency than other storage materials [22]. Natarajan et al., presented experimental results of a tunnel type agricultural product dryer so as to thermal storage materials effects on thermal efficiency. According to their experimental results, without thermal storage, sand bed, rock bed and aluminum conditions were found 9.9%, 15.46%, 14.75% and 13.7%, respectively [23]. Singh et al., compared thermal efficiency of a solar air heater collector with various combinations of thermal storage media. They observed the best heat storage capability have coupled with aluminum cans and sand as compared to other systems. They achieved maximum efficiency (44.45%) with SAH with aluminum cans and sand [24].

Fire bricks are light, porous refractories and contain 60-70% silica (Silicon Dioxide) and 30-40% alumina (Aluminum Oxide). Materials other than these two components in a good fire brick should not exceed 5%. It has low thermal conductivity and high heat storage capacity [25]. For this reason, although researchers studying on energy storage and recovery systems with fire bricks today, but it is not enough to turn into a commercial product.

The storable energy is directly related to the solar radiation duration, solar angles, cloudiness rate, and the amount of storage material. It is expected that the experimental conditions do not vary as much as possible because the variation of the angle and amount of solar radiation on different days or hours may result in errors in the production of correct data by monitoring the effects of the application factors tested. Panel efficiencies determination experiments are generally carries out indoors because efficiency may effects than outdoor conditions due to the amount of radiation can't keep constant and the air flows may cause heat losses on the surface are prevented. The use of solar simulators to conduct efficiency testing of solar panels is common due to repeatable, adjustable and stabilizable [26-27].

In this study, the effects of using fire brick fragments in the panel on collector efficiency were investigated. In this context, fire brick fragments as filling material were placed in the collector with 4 different densities (3, 7, 11, 13 kg.m<sup>-2</sup>), control (without storage material) experiments were performed by using solar simulator.

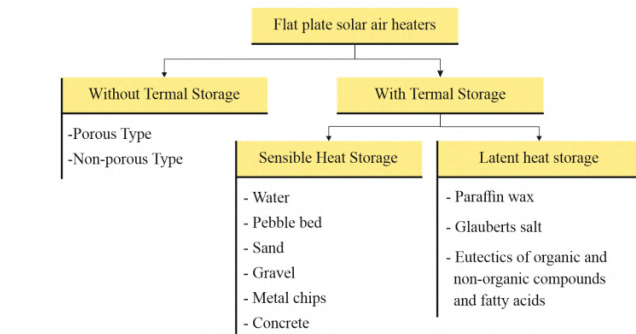


Figure 1. Classification of solar air heaters.

In Table 1, commonly used sensible and latent heat storage materials properties were given [9].

Table 1. Thermo-physical properties of different materials.

Thermal energy storage	Specific heat kJ/kg.K	Thermal conductivity W/m.K	Density kg/m <sup>3</sup>	Latent heat of fusion kJ/kg
Rockbed	1	3,26	2240	-
Brick	790	0,90	1920	-
Concrete	840	0,79	1600	-
Pebble bed	0,8	2,9	1430	-
Paraffin wax	2,1-8,4	0,24	920-795	189
Hytherm oil	0,73	0,97	725	-
Glauber's salt	2,5	2,25	1330-1460	251
Organic PCM	2	-	800	190
Inorganic PCM	2	-	1600	230
Granular carbon	0,93	0,11	460	-
Water	4178	0,612	998	334
Al composites	0,89	0,21	2707	-
Iron gravels	0,56	37	7200	-

The storage of solar energy is important for the future success of solar energy use. In cases where the energy needs to be continuity, such as drying of agricultural products or space heating, the energy must be stored temporarily. The storable energy amount varies depends on the properties of the PCMs and e-ISSN: 2148-2683

## 2. Material

### 2.1. Solar Simulator

Solar simulators are used in indoor testing of equipment that converts solar energy into different energy types such as photovoltaic cells and solar collectors under controlled and repeatable conditions. The simulators are uses electrically powered halogen lamps which provide the equivalent light spectrum of daylight. It is easy to recognize the absolute effects of a change in a given factor on panel efficiency in panels tested with the simulator. In addition, climatic changes eliminate the uncertainty caused by uncontrolled outdoor factors such as cloudiness factor or wind. The fundamental of the solar simulator is that it matches the spectrum of daylight and that the radiation is homogeneously distributed across the panel surface to be tested [28, 29]. Experiments were conducted with a solar simulator consisting of 30 halogen lamps (330 W) in 6x5 matrix. The radiation intensity of each lamp can be adjusted by the dimmer switch to which it is connected. The homogeneity of the radiation reaching the surface can be adjusted in this way. The simulator can generate radiation for any value between 0-1350 W.m<sup>-2</sup>) Fig [2]. For the experiments to be performed under 1000 W.m<sup>-2</sup>), the radiation measurements made with DeltaOhm brand HD2102.2 model radiometer from 35 points on the panel were adjusted to be homogeneous.

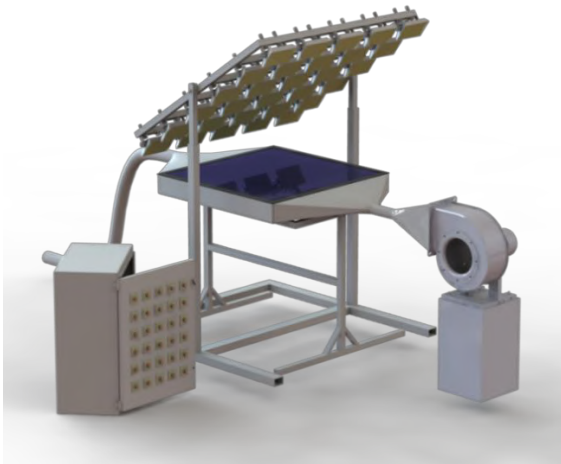


Figure 2. Solar simulator

### 2.2. Automation and Logging System

PLC based automation system has been developed for the control of variables such as application of radiation during constant time, cooling time and air speed, and saving of temperature values to an external memory periodically. Temperature values were measured with thermal pairs at 4 different points including input, output, ambient and in-panel. The frequency value of the radial fan operating with alternating current and that provides air supply can be adjusted via automation. The frequency driver was used to conduct experiments which the outlet air velocity was equal of a specified value via frequency. The outlet air velocity measures with HK Instruments AVT-D model anemometer. Delta branded MPU is programmed for automatic control. In addition, an interface designed for the input parameters by user Figure 3.

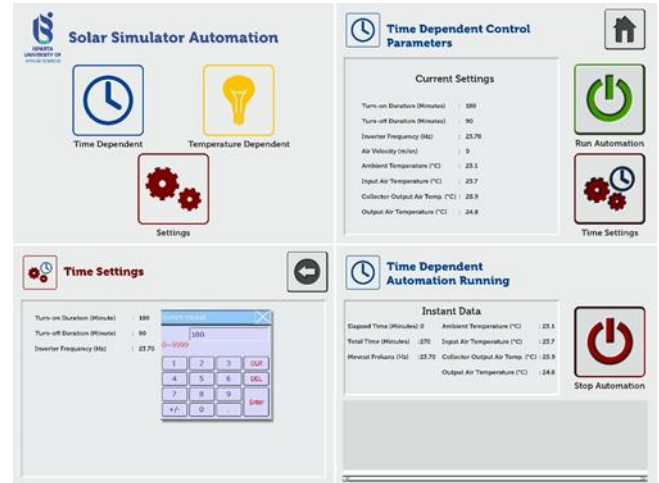


Figure 3. Pages of automation interface

### 2.3. Collector and Thermal Energy Storage Material

On the experiments, a solar collector with standard air heating with glass on the top, matt black on the absorber and without roughness was used. The inner volume of the collector can be filled with different materials and the top surface has a hinged shutter design. The absorber surface area of the panel (1.02 m x 0.72 m) is 0.74 m<sup>2</sup> and the input-output air channels are converted to circular. Fire brick fragments were used as thermal storage material with approximately 0.974 kg.dm<sup>-3</sup> (w/v) Figure 4.



Figure 4. To used cracked fire bricks as thermal energy storage.

## 3. Method

In the experiments, the effects of the application of fire brick fragments into the collector at different densities on the thermal efficiency of the collector were observed. The densities were applied to 0 (control), 3, 7, 11, 13 kg m<sup>-2</sup> Figure 5.



Figure 5. To used fire bricks fragments as a thermal energy storage.

Voltage adjustment was made with dimmer switches for each of the 30 halogen lamps in the simulator. The irradiation intensity on the collector surface was adjusted to be homogeneously distributed and constant at  $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

The section of the air outlet of the collector is circular and has a diameter of 17 cm. The amount of frequency to be applied to the radial fan was determined to be  $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  and the volumetric flow rate was calculated as  $1.36 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . The mass flow rate varies depending on the outlet air temperature. For this reason, the temperature-dependent specific mass of the air leaving the collector is calculated with Eq. 1 [6] and the mass flow is calculated with Eq. 2 [6] for each measured temperature.

$$\rho_a = M \frac{P}{RT} \quad (1)$$

$$\dot{m}_a = \rho_a V_a \quad (2)$$

$\rho_a$  : Specific mass, ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

$M$  : Molar mass of air, ( $28.97 \text{ kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$ )

$P$  : Sea level standard atmospheric pressure, ( $101.325 \text{ kPa}$ )

$R$  : Universal gas constant ( $8314.3 \text{ J} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$T$  : Air temperature, ( $\text{K}$ )

$\dot{m}_a$  : Air mass flow rate, ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$V_a$  : Air velocity ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Collector and parameters specific mass flow rate value ( $G$ ) used in the experiments were calculated with Eq. 3 [6] and the specific mass flow rate value for the experiments was found to be  $125 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ .

$$G = \frac{\dot{m}_a}{A_a} 3600 \quad (3)$$

$A_a$  : Absorber surface area ( $\text{m}^2$ ).

The energy charged to the air passing through the collector for one minute was calculated with Eq. 4 [6].

$$Q = \dot{m}_a C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (4)$$

$Q$  : Gained energy by air, ( $\text{kcal}$ )

$C_p$  : Specific heat capacity of air, ( $0.24 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}$ )

$T_{out}$  : Output air temperature, ( $^\circ\text{C}$ )

$T_{in}$  : Input air temperature ( $^\circ\text{C}$ ).

The thermal efficiency of solar collectors varies according to the angle and amount of solar radiation. Thermal efficiency is the ratio of the energy loaded to the working fluid to the amount of radiation coming to the panel surface. Thermal efficiency was calculated with Eq. 5 [6].

$$\eta = \frac{Q_t}{A_a \cdot I \cdot t} \quad (5)$$

$Q_t$  : Total gained energy by air during experiment, ( $\text{Wh}$ )

$I$  : Irradiance, ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

$t$  : Experiment time, ( $\text{h}$ )

The experiments were carried out by under  $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  irradiance during 180 minute and allowing only air flow to cool for the following 90 minutes. This process was repeated by placing fire brick fragments of different densities in the collector and the obtained temperature data were evaluated. Empty collector experiment without fire brick fragments was used as control experiment.

#### 4. Result and Discussions

The experiments were carried out by placing fire brick fragments in the heater at a density of 0, 3, 7, 11, 13  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ , respectively. It has been observed in all experiments that the outlet and inlet air temperatures continuously increase during the 3 hours under irradiation, and close the gap within next 1.5 hours. Figure 6.

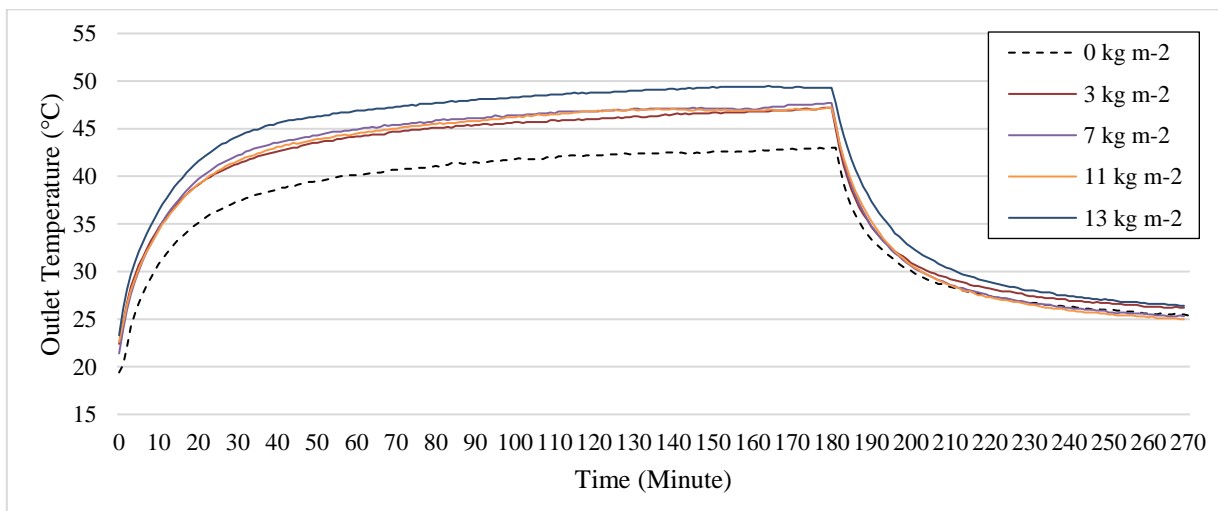


Figure 6. 0, 3, 7, 11 and 13  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  applied collector's outlet air temperature changes



The graph of the change in the inlet and outlet air temperatures according to the different fire brick application densities is shown in Figure 7. For easier interpretation of the graph, the calculations of the areas under the curves of temperature differences are shown in Table 2.

Table 2. Comparison of areas under the curves in the temperature difference graph

	Irradiance Phase (0-180 min)	Cooling Phase (181-270 min)
0 kg m <sup>-2</sup> ( $\Delta T^*t$ )	2313.30	128.45
3 kg m <sup>-2</sup> ( $\Delta T^*t$ )	2846.95	132.70
7 kg m <sup>-2</sup> ( $\Delta T^*t$ )	3146.00	169.40
11 kg m <sup>-2</sup> ( $\Delta T^*t$ )	3191.90	191.70
13 kg m <sup>-2</sup> ( $\Delta T^*t$ )	3281.65	203.75

The differences in collector efficiency of the applications are shown in Figure 8. Efficiency calculations were compared separately for the first 3 hours (under irradiation) and all 4.5 hours.

Using less storage material causes an increase in the gap inside the collector. As mentioned in the study of Aboul-Enein et al., it is seen that increasing the gap decreasing the outlet air temperature also in this study [30]. The use of thermal storage materials in solar collector is known to increase thermal efficiency and output air temperature [31]. The effect of the heat exchange observed during the cooling phase increased with the density of applied storage material. The effect value of the discharged energy per unit weight (kg) of the applied fire bricks density was highest in 7 kg m<sup>-2</sup> application and it was calculated as 2.03 Wh kg<sup>-1</sup> m<sup>2</sup>. When this calculation was made for 3, 11 and 13 kg m<sup>-2</sup> applications, it was found to be 0.56, 1.98 and 1.95 Wh kg<sup>-1</sup> m<sup>2</sup> respectively. It is thought that this value does not increase gradually because of the change of path of the fluid air and the decrease of the contact surface of the air with the storage material.

In this study, the effect of thermal storage material used per unit area on thermal efficiency has been observed. It is seen that the thermal efficiency increases with the increase of the material

used. Collector total efficiencies were 42.14, 51.23, 56.52, 57.42, 58.62% corresponding values to application densities 0, 3, 7, 11, 13 kg m<sup>-2</sup> and efficiencies of under irradiance were 39.41, 48.41, 52.98, 53.44, 54.43% respectively.

Solar air heaters integrated with cylindrical copper tubes carrying low cost thermal energy storage materials as granular carbon powder, paraffin wax and combination of these were evaluated. Results showed that, the thermal efficiency reached to 78.3% by combination of storage materials and exhaust temperature of 50 °C [32]. Using synthetic oil in the black painted copper tubes of SAH as a sensible heat storage medium reached to the maximum efficiency of 67.7% at mass flow rate of 0.028 kg s<sup>-1</sup> higher than the conventional SAH [11]. In another study, thermal efficiencies of SAH with storage were ranged between 68.4-71.9% and 2-3 h more effective than conventional SAHs [33]. It was varied between 12% and 65% per day and the maximum air temperature is higher than the temperature recorded without storage [34]. The SAHs with packed bed storage medium is more efficient than without storage interms of energy efficiency between 20.35% and 50.92%. It is also capable to deliver the hot air in the range of 45 to 60 °C for a longer period. It could be possible to extend operation time up to 4 h with the temperature difference of 6-8 °C higher than the ambient temperature [35]. Using paraffin wax as pcm improved heat transfer and thermal efficiency reached to 39% for flat plate absorber plate and 43% for inclined absorber plate with PCM, while it was 31% for conventional SAH [36]. The thermal efficiencies of double glazed passive SAHs were investigated for different PCMs such as paraffin wax and palm oil and resulted with 38.4% and 41.0%, respectively [37]. In another double pass SAH using paraffin wax reached the maximum thermal efficiency of 97% and provided beneficial heat for 2.5 h after the sunset [38, 39]. Usage of powdered cherry stone and stone for sensible thermal energy storage in SAH resulted in average thermal efficiency between 6.05% and 39.99% depending on the air flow rate. Daily thermal efficiency with powdered cherry stone was found as 18.7% higher than SAH without heat storage. Powdered cherry stone and stone heat storage improved the energy generation for about 4 and 5 hours after sunset, respectively [40]. SAHs using paraffin wax and pure cement increased the heating period after 6.30 p.m. about 4 h and 2 h, respectively [41].

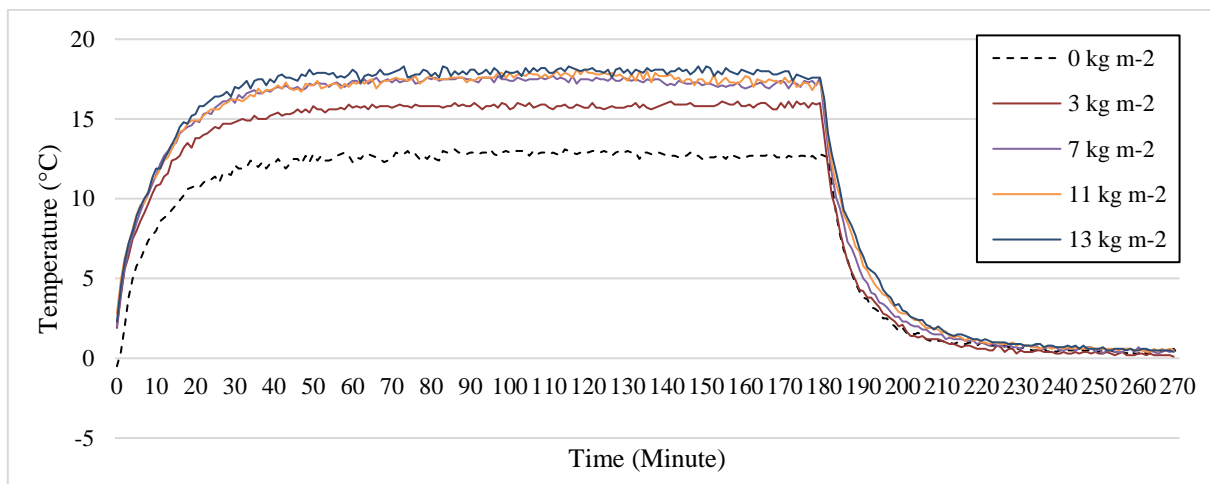


Figure 7. Time-dependent differences between inlet and outlet air temperatures.



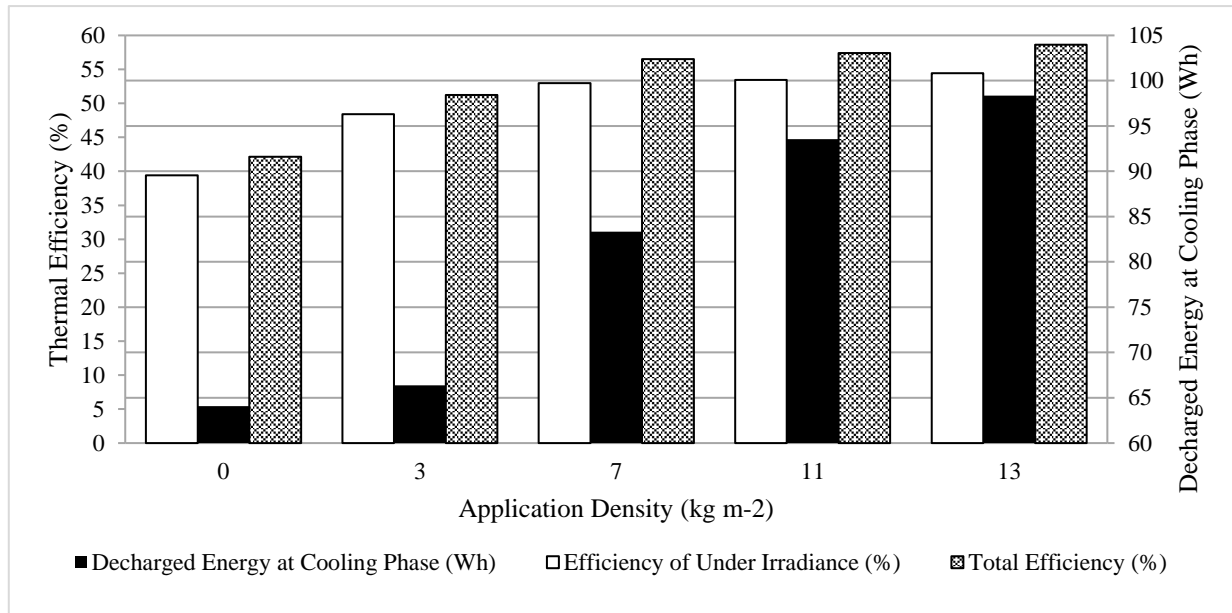


Figure 8. Effect of different density applications on thermal efficiency and stored energy amount.

#### 4. Conclusions

The results obtained from the experiments showed that collector efficiency and outlet air temperature increased with applied fire brick fragments density. However, it has been observed that the amount of energy stored per unit of storage material does not increase continuously in a storage system integrated to the collector. This study shows that fire brick fragments can be used as a thermal energy storage material to provide hot air between 45 and 50 °C, which is needed for drying or heating a certain volume.

#### References

- [1]. S. A. Kalogirou, "Solar thermal collectors and applications", *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 30, pp. 231-295, 2004.
- [2]. A. L. Bonnette and Xenophon, *Memorabilia*, Cornell University Press, 2014.
- [3]. Evangelisti, L., Vollaro, R.D.L., Asdrubali, F., 2019. Latest advances on solar thermal collectors: a comprehensive review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 114, 109318.
- [4]. K. B. Varınca and M. T. Gönüllü, "Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma", *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi UGHEK 2006*, ESOGÜ, Eskişehir, 270-275, (2006).
- [5]. A. Kumar, R. P. Saini and J. S. Saini, "A review of thermohydraulic performance of artificially roughened solar air heaters", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 37, pp. 100-122, 2014.
- [6]. A. Ghiami and S. Ghiami, "Comparative study based on energy and exergy analyses of a baffled solar air heater with latent storage collector", *Applied Thermal Engineering*, vol. 133, pp. 797-808, 2018.
- [7]. M. K. Selçuk, "Solar Air Heaters and Their Applications", *Solar Energy Engineering*, Chapter 8, pp. 155-182, 1977.
- [8]. P. S. Bhambare and G. V. Parishwad, "Study of Medium Temperature Solar Thermal Applications", *International Journal of Applied Research and Studies*, vol. 2, no 5, pp. 1-11, 2013.
- [9]. Haldorai S, Gurusamy S, Pradhapraj M. A review on thermal energy storage systems in solar air heaters. *Int. J Energy Res.* 2019, 43:6061-6077.
- [10]. Javadi F.S., Metselaar H.S.C., Ganesan P., 2020. Performance improvement of solar thermal systems integrated with phase change materials (PCM), A review. *Solar Energy*, 206, 330-352.
- [11]. Kalairasi G., Velraj R., Van jeswaran M.N., Pardian N.G., 2020. Experimental analysis and comparison of flat plate solar air heater with and without integrated sensible heat storage. *Renewable Energy*, 150, 255-265.
- [12]. Gautam A., Saini R.P., 2020. A review on sensible heat based packed bed solar thermal energy storage system for low temperature applications. *Solar Energy*, 207, 937-956.
- [13]. T. Tanaka, T. Tani, S. Sawata, K. Sakuta and T. Horigome, "Fundamental studies on heat storage of solar energy", *Solar Energy*, vol. 19, pp. 415-419, 1976.
- [14]. C. Choudhury, P. M. Chauhan and H.P. Garg, "Economic Design of a Rock Bed Storage Device for Storing Solar Thermal Energy", *Solar Energy*, vol. 55, no 1, pp. 29-37, 1995.
- [15]. I. Sarbu and C. Sebarchievici, "A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage", *Sustainability*, vol. 10, no 1, p. 191, 2018.
- [16]. A. Gil, M. Medrano, I. Martorell, A. Lazaro, P. Dolado, B. Zelba and L. F. Cabeza, "State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 31-55, 2010.

- [17]. J. Gasia, L. Miró and L. F. Cabeza, "Review on system and material requirements for high temperature thermal energy storage.", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 1320-1338, 2017.
- [18]. J. Singh, R. Singh and B. Bhushan, "Thermo Hydraulic Performance of Solar Air Duct Having Triangular Protrusions as Roughness Geometry", *Journal of Thermal Engineering*, vol. 1, no 7, pp. 607-620, 2015.
- [19]. S. A. Nagalkar, A. B. Kanase-Patil and N. A. Phadtare, "Heat Transfer Enhancement in Solar Air Heater having Multi-Arc Shape Artificial Roughness with gap", *International Conference on Technologies for Sustainable Development ICTSD 2015, Mumbai, India, (2015)*.
- [20]. Mehmet Şener, "Etkin Bir Havalı Güneş Kolektörünün Tasarımı ve Optimizasyonu", *Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum, 2013*.
- [21]. Kumru Güreşçi, "Isı Alıcıların Kanal Akışında Isı ve Akış Karakteristiklerinin Sayısal Olarak İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2014*.
- [22]. Saravanakumar, P.T., Mayilsamy, K., *Forced convection flat plate solar air heaters with and without thermal storage. Journal of Scientific & Industrial Research, Vol. 69, pp. 966-968, 2010*.
- [23]. Natarajan, K., Thokchom, S.S., Verma, T.N., Nashine, P., *Convective solar drying of Vitis vinifera & Momordica charantia using thermal storage materials. Renewable Energy, Vol. 113, pp. 1193-1200, 2017*.
- [24]. Singh, T.S., Verma, T.N., Jahiya, M., Singh, P.K., Kheiruddin, M., Ajitkumar, K., Singh, N.W., Singh, H.D., *Forced Convective Solar Air Heater: Effect of Thermal Storage Materials. International Journal of Applied Engineering Research, 13(8), pp.5877-5880, 2018*.
- [25]. Devlet Planlama Teşkilatı, *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, "Taş ve Toprağa Dayalı Ürünlerin Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu (Refrakter), Ankara, 2001*.
- [26]. Yuansheng Pei, "Design of an LED-Based Solar Simulator", *Honour thesis, Murdoch University, Perth, Western Australia, 2017*.
- [27]. A. M. Bazzi, Z. Klein, M. Sweeney, K. P. Kroger, P. S. Shenoy and P. T. Krein, "Solid-State Solar Simulator", *IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 48, no 4, pp. 1195-1202, 2012*.
- [28]. R. V. Parupudi, H. Singh and M. Kolokotroni, "Sun Simulator for Indoor Performance assessment of Solar Photovoltaic Cells", *Energy Procedia, vol. 161, pp. 376-384, 2019*.
- [29]. Salih SM, Jalil JM, Najim SE. *Experimental and numerical analysis of double-pass solar air heater utilizing multiple capsules PCM. Renewable Energy 2019; 143:1053-66*
- [30]. Aboul-Enein, S., El-Sebaii, A.A., Ramadan, M.R.I, El-Gohary, H.G., *Parametric study of a solar air heater with and without thermal storage for solar drying applications. Renewable Energy, 21, pp.505-522, 2000*.
- [31]. Krishnananth, S.S., and Murugavel, K.K., *Experimental study on double pass solar air heater with thermal energy storage. Journal of King Saud University – Engineering Sciences, 25, pp.135-140, 2013*.
- [32]. Saxena A., Verma P., Srivastava G., Kishore N. *Design and thermal performance evaluation of an air heater with low cost thermal energy storage. Applied Thermal engineering, 167, 114768*.
- [33]. Sajawal M., Rahman T., Ali H.M., Sajjad U., Raza A., Bhatti M.S., 2019. *Experimental thermal performance analysis of finned tube phase change material based double pass solar air heater. Case Studies in Thermal Engineering, 15, 100543*.
- [34]. Sunilraj B.A., Esmaramoorthy M., 2020. *Experimental study on hybrid natural circulation type solar air heater with paraffin wax based thermal storage. Material Today: Proceeding 23, 49-52*.
- [35]. Vijayan S., Arjunan T.V., Kumar A., Mortheswaran M.M., "Experimental and thermal performance investigations on sensible storage based solar air heater" *Journal of Energy Storage, 31, 101620*.
- [36]. Sudhakar P, Cheralathan M. *Thermal performance enhancement of solar air collector using a novel V-groove absorber plate with pin-fins for drying agricultural products: an experimental study. J Therm Anal Calorim 2020;140: 2397-408. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08952-9>*.
- [37]. O. Ojike, W.I. Okonkwo, *Study of a passive solar air heater using palm oil and paraffin as storage media, Case Stud. Therm. Eng. 14 (2019), <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100454>*.
- [38]. W. Baig, H.M. Ali, *An experimental investigation of performance of a double pass solar air heater with foam aluminum thermal storage medium, Case Studies in Thermal Engineering 14 (2019) 100440*.
- [39]. Bubnovich V, Reyes A, Díaz M. *Computational simulation of the thermal performance of a solar air heater integrated with a phase change. Material. J Sol Energy Eng 2019;141(5):051011. <https://doi.org/10.1115/1.4043549>*.
- [40]. Abuşka M., Şevik S., Kayapınar A. *Comparative energy and exergy performance investigation of forced convection solar air collectors with cherry stone/powder. Renew Energy 2019; 143: 34-46. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.149>*.
- [41]. A.R. Abdulmunem, A.H. Abed, H.A. Hussien, P.M. Samin, H.A. Rahman, *Improving the performance of solar air heater using high thermal storage materials, Ann. Chimie Sci. Materiaux 43 (6) (2019) 389e394, <https://doi.org/10.18280/acsm.430605>*.



# Machine Learning Techniques for Anxiety Disorder

Elif Altintas<sup>1,\*</sup>, Zeynep Uylas Aksu<sup>2</sup>, Zeynep Gumus<sup>3</sup>

1\* Haliç University, Faculty of Engineering, Department of Software Engineering, Istanbul, 34445, Turkey,, (ORCID: 0000-0002-3454-0326), elifaltintaskahriman@halic.edu.tr

2 Istanbul Bilgi University, School of Advanced Vocational Studies, Department of Computer Technology, Istanbul, 34060, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9910-2696), zeynep.aksu@bilgi.edu.tr

3 Uskudar University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Psychology, Istanbul, 34662, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4474-4813), zeynep.gumus@uskudar.edu.tr

(First received 23 September and in final form 23 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.999914)

**ATIF/REFERENCE:** Altintas, E., Uylas Aksu, Z., & Gumus Z. (2021). Machine Learning Techniques in the Treatment of Anxiety Disorder. European Journal of Science and Technology, (31), 365-374.

## Abstract

In recent years, artificial intelligence based applications have been improved and used to improve the timing, sensitivity and quality of diagnosis of psychiatric diseases. We aim to review the existing literature on the use of artificial intelligence techniques in the assessment of subjects with anxiety disorder. We searched databases about DSM-5 (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders) one of the main categories of anxiety disorders; Separation Anxiety Disorder, Generalized Anxiety Disorder, Panic Disorder and Social Anxiety Disorder between 2015-2021. We identified 30 different techniques on these works. Comparisons have been made with more than one algorithm in the studies. The Random Forest Algorithm has been seen in the most used machine learning method among these algorithms. In addition, the best accuracy performance has been observed in the Random Forest Algorithm. This article critically analyzes these recent research studies on anxiety. Considering the clinical heterogeneity of the data obtained from anxiety patients, we conclude that artificial intelligence techniques can provide important information to clinicians and researchers in areas such as diagnosis, personalized treatment, and prognosis.

**Keywords:** Anxiety disorders, Machine Learning, Panic Disorder, Psychiatric Disorders, Social Anxiety Disorder, Random Forest Classifier.

## Anksiyete Bozukluğunda Makine Öğrenmesi Teknikleri

### Öz

Son yıllarda psikiyatrik hastalıkların teşhisinin zamanlamasını, duyarlılığını ve kalitesini iyileştirmek için yapay zeka tabanlı uygulamalar geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Anksiyete bozukluğu olan deneklerin değerlendirilmesinde yapay zeka tekniklerinin kullanımına ilişkin mevcut literatürü gözden geçirmeyi amaçlanmaktadır. Anksiyete bozukluklarının ana kategorilerinden biri olan; ayrılık kaygısı bozukluğu, genelleşmiş kaygı bozukluğu, panik bozukluğu ve sosyal kaygı bozukluğu DSM-5 (Ruhsal Bozuklukların Tanısal ve İstatistiksel El Kitabı) ile ilgili 2015-2021 yılları arasındaki veri tabanları araştırılmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan 30 farklı teknik belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda birden fazla algoritma ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu algoritmalar arasında en çok kullanılan makine öğrenmesi yönteminde Rastgele Orman Algoritması görülmüştür. Ayrıca en iyi doğruluk performansı Rastgele Orman Algoritması'nda gözlemlenmiştir. Bu makale, kaygı üzerine yapılan bu son araştırma çalışmalarını eleştirel bir şekilde analiz etmektedir. Anksiyete hastalarından elde edilen verilerin klinik heterojenliği göz önüne alındığında, yapay zeka tekniklerinin tanı, kişiselleştirilmiş tedavi ve prognoz gibi alanlarda klinisyenlere ve araştırmacılara önemli bilgiler sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Anksiyete Bozukluğu, Makine Öğrenmesi, Panik Bozukluk, Psikiyatrik Bozukluklar, Sosyal Anksiyete Bozukluğu, Rastgele Orman Sınıflandırıcılar.

## 1. Introduction

In recent years, Artificial intelligence (AI) with its vast real-world applications play a significant role in science which are disease diagnosis, face recognition, robotics, digital applications, data mining, industrial applications. Artificial neural networks (ANNs) have been used in many fields such as signal processing, pattern recognition (PR) and forecasting, and have achieved high success. The research of ANNs has become a hot spot in the AI field [1]. AI is rapidly emerging and is expected to affect all aspects of medicine, especially psychiatry. PubMed, Embase, Web of Science, ScienceDirect, Scopus, and Google Scholar search for the term "AI in psychiatry" indicate that publications on this topic have increased exponentially in recent years.

Additionally, psychiatrists have increasingly noticed the need for a basic comprehension of AI. Co-operation between data scientists, physicians, computer&software engineers is needed to provide proper training, operation, and supervision of AI-based systems&applications [2]. AI-based systems and applications have brought more novel and effective solutions for the treatment of psychiatric diseases. Recent improvements in technology&computer science include human-like machines that imitate human behavior or cognitive processing [3].

Since medical diagnosis comprises uncertain high-dimensional clinical data, AI technology is urgently needed to deal with the various properties of data, which will further work up and help medical practitioners to make effective and accurate decisions [4]. Diagnosis could be difficult due to the common symptoms of many psychiatric disorders (PDs). With machine learning approaches, similar symptoms of diseases could be detected. Kurban determined the closeness of text-based fields with each other using machine learning methods [47].

Psychological disorder is a sociable issue that can cause severe suffering or harm to human work. At present, mental illness is one of the five main syndromes that cause deficiency to work, constituting more than 30% of all diseases in a generation. In recent years, new techniques for diagnosis mental illness and its effects, causes and treatment methods have been studied and established by many researchers [5].

In accordance with DSM-5 [6], psychological and psychotic disorders can be divided into neuro developmental, bipolar and relative, depression, anxiety, obsessive-compulsive, mental related to obsessive-compulsive, separation Sexual, eating and eating, elimination, arousal, impulsive, addictive, neurocognitive, personality and relatives and friends sexual disorders [6].

With the improvement of technology, research on the brain has increased to understand the mechanisms and etiology of PDs [7, 8, 9]. Psychiatric research and applications based on AI for diagnosis, which are thought to help to understand the pathophysiology of mental disorders, are on the agenda of health policies [10]. It is thought that developing technology and AI techniques will be useful in evaluation, diagnosis, treatment and clinical decision making [11, 12].

In light of the above, the aim of this study is to systematically review, turn to account, and compare available methods designed to identify the best performing techniques to foresee anxiety diseases in early stage and which algorithm works best with what type of data.

## 2. Material and Method

More than 500 articles published from 1990 to 2015 have been reviewed and 200 were selected for this survey. These articles are 19 depressive disorders, 63 schizophrenias, 112 AD/MCI, 22 ADHD and 20 ASD. In MCI/AD studies due to Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (ADNI) dataset, structural MRI has been seen as the most popular method. In ADHD and schizophrenia studies, combined rest and task fMRI have been pointed as the most popular method. High accuracy rates were obtained in studies with a sample size less than 100 [13].

### 2.1. Studies on ML and DL

Neuroimaging on the human brain has become increasingly important in recent years with imaging methods which are magnetic resonance imaging (MRI), magnetoencephalography (MEG), electroencephalography (EEG). Neuroimaging offers new approaches to understand diseases for instance schizophrenia, bipolar disorder, autism spectrum disorder (ASD), Alzheimer's disease (AD), major depressive disorders, attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) and mild cognitive impairment (MCI). There are two objectives: Firstly, a large number of MRI-based brain disorder diagnostic/prognostic studies in schizophrenia, ASD, ADHD, depressive disorder, MCI and AD have been examined and compared according to their type of features, classifier and reported accuracies. Secondly, an opinion has been constructed about how machine learning (ML) can be applied to neuroimaging [13].

Anxiety disorders and depression has among the PDs that are common all over the world. The fast pace of the modern world has effective in the spread of these diseases [14]. Fear and anxiety are the main emotions highly related to evolution. As our most basic "alert system", they ensure that organisms survive in potentially harmful and dynamically changing environments. The defense system of organisms is affected by both (epi) genetic factors and environment, including personal learning experience [15, 16]. Anxiety disorders are characterized by onset in childhood and early adolescence [17]. Worldwide, anxiety disorders constitute an important part of global diseases (14.6% of disability-adjusted life years [DALYs]) [18]. Panic disorder is an anxiety disorder in which similar symptoms are seen and accompanied by the anxiety of experiencing recurrent panic attacks after at least one panic attack. Anxiety disorders are often seen together with mood disorders [19].

Psychosocial factors, neurobiological and neuropsychological dysfunctions are thought to be effective in the aetiology of anxiety disorders [20]. Within the scope of anxiety disorders to DSM-5 classification; Generalized Anxiety Disorder (GAD), Separation Anxiety Disorder (SAD), Panic Disorder, Social Phobia, Selective Mutism, Agoraphobia, Specific Phobias, Substance / Drug Induced Anxiety Disorder, and Anxiety Disorder related to another health condition [19].

Rapid processing and analysis of relevant data in anxiety diseases is critical. The use of AI models will help identify many PDs at an earlier or prodromal phase. Thus, more effective interventions will be provided [21]. Increasing AI studies in mental health research and clinical care seem to be the changes brought by the modern world and advancing technology.

Biomarker, one of the scanning and pattern methods, has been used in the diagnosis of the brain image. Wolfers et al. [22]



have examined the use of patient screenings for psychiatric diagnosis diseases in 2015. According to their reviews, they have thought that there might be some difficulties in PR. In this context, it has been emphasized that pattern scanning is of high signficure in the diagnosis of the disease since the day, it was used [22].

ML contributes to the early diagnosis and treatment of many psychiatric diseases. There are many methods of psychiatric diseases. Cornblath et al. [23] have suggested that combining these techniques with ML will create a new approach to the treatment of psychiatric diseases [23].

Garcia-Ceja et al. have researched works by using ML in mental health monitoring systems (MHMS). They have classified the study in three part: study type which is occurred by connection, detection and forecasting, study duration which is separated to short term and long-term, sensing types which are wearable, external and software/social media. In their study, the papers have classified according to these categories. It has been expressed that that the use of multiple sensing technologies together with ML methods provides an advantage in the treatment of mental diseases [24]. Continuous monitoring of different mental states such as depression, anxiety, stress, and mental health with such applications provides superior efficiency and integrates the field of psychiatry with advanced technology.

Trumpff et al. [25] have determined psychological and physiological spesifiers of ccf-mtDNA reactivity using ML. The study has included 46 healthy middle-aged adults who are 28 men, 18 women and between 41-59 years old. ML model was trained using serum ccf-mtDNA concentration data measured before and after stress. 56 traits such as psychological variables, gender, personality traits were classified and have been trained for partial least squares (PLS) were trained for differential analysis (PLS-DA) and random forest (RF) classification models. It is determined that %60 women, %40 men among low responders and %21 women, %79 men among high responders ( $X^2=26.95$ ;  $p < 0.0001$ ). They concluded that the gender is important factor. Compared with low responders, high responders have a more significant reduction in fatigue caused by stress ( $d=0.38$ ).

There are many studies related to stress. Smets et al. [26] have researched stress measurement in an experimental environment depending on the physiological signal of the responses. They have compared ML techniques in research. Electrocardiogram (ECG) and galvanic skin response (GSR), heat and respiratory of the subjects were measured. The research has been compared with 6 different ML methods: Logistic Regression (LR), Support Vector Machines (SVMs), Decision Trees (DT), RFs, Bayesian Networks (BNs). The best results have 84.6% for BNs, 82.7% for generalized SVMs.

According to data from Google scholars, the past ten years have been related to anxiety, attention deficit hyperactivity disorder, autism, stress, insomnia, schizophrenia, depression, Parkinson's, AD and the use of data mining to diagnose dementia. However, only 0%, 2% and 3% jobs were found in Parkinson, insomnia and anxiety, separately. Abstracts of publications for these diseases are described in the Figure 1 [4]. As seen in the rates, the second least studied area is anxiety. However, according to DSM-5 (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders), autism, Parkinson's, Alzheimer's, etc. diseases are considered as neurological diseases that occur in the brain rather than psychological diseases. Genetic scientists, neurologists and image processing specialists work on the preliminary diagnosis and treatment methods of these diseases. Diseases such as anxiety,

depression and stress are based on psychology and are more likely to be predicted by being evaluated and tested from many different angles, and it is thought that if they can be treated early, their prevalence in society can be prevented. For this reason, anxiety disorder was discussed in this study.

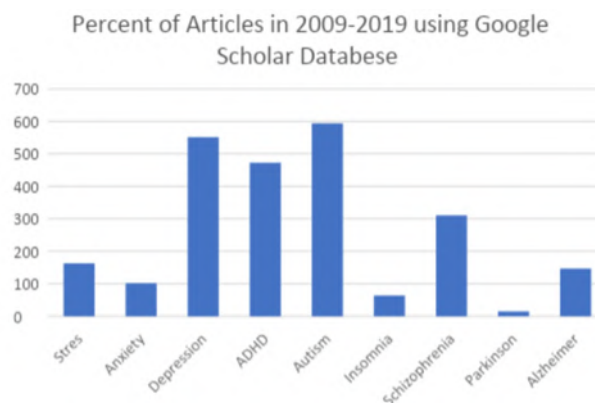


Figure 1. The rate of articles (2009–2019) for diagnosing different psychological disorders.

## 2.2. Implementation of ML and DL For Anxiety Disorder

In the globalizing world, it is difficult to distinguish whether the increasing stress and anxiety in societies living in metropolitan cities is a possible anxiety symptom or periodic emotional states. For this reason, we have compiled studies on anxiety disease, for which early diagnosis is important, and these studies are expected to shed light on future studies in this area.

In 2016, a study prepared by Carpenter et al.[27] has examined anxiety disorder in preschool children. The study includes healthy and sick child profiles aged 2-5 years at pediatric health and diseases clinic of Duke University. "The Preschool Age Psychiatric Assessment" has been applied to children. Two different data groups were used. GAD and SAD have been evaluated separately. The number of participants is 307 in the first data group which has 1073 children, the number of participants is 917 in the second data group which has 3433 children. Test and Education data set has been used. Alternating decision tree (ADTree) which is ML method has been applied. The researchers have compared the j48 algorithm, but J48 has created too many nodes, the comprehensibility has been becoming difficult. While evaluating performance, sensitivity has been measured based on deterministic and accuracy criteria. The algorithm ensure a very reserved risk forecaster for the GAD and SAD, with accuracy values of 97% and 99%, respectively. It has a sensitivity of 100%, a determination of 97.2% for GAD and a sensitivity of 99.8%, a sensitivity of 84.7% for SAD. As a result of the study, the researchers have determined that a short screening tool that defines anxiety risk can be developed, and this risk can be measured in preschool. Here in, it is aimed to reduce the number of factors required to describe a child at risk of worry.

Biomarkers in the field of psychiatry help to predict disease status and outcomes. However, biomarker development is lagging behind in psychiatry due to the heterogeneity in the development of symptoms. Melleme et al. [28] have focused on the classification of psychiatric diseases and conducted a biomarker study based on neuroimaging. Researchers have considered three different models of PDs: dysregulated mood, anhedonia, and anxiety. The data containing the clinical scale evaluations has

been taken with 272 data from "Consortium for Neuropsychiatric Phenomics". It has included 3 patients with genetic risk, MRI and clinical scale data. Levels of dysregulated mood, anhedonia, and anxiety have been examined. The sample included in the study consists of participants between the ages of 21-50 and this group consists of 4 classes. The healthy individuals 48% , 18% with schizophrenia, 18% with bipolar disorder, whereas the remaining 16 percent are those with hyperactivity disorder patients of the total number of participants. Models are constructed with Lasso Regression (L1), Elastic Net Regression, RF. By means of this approach, the model has been optimized, 65% to 90% of variance has been explained in 3 symptom areas. According to results, structural features did not play a crucial role in forecasting. Temperament and personality scales have been identified as important predictors of symptom variation. Predictive tolerance-state functional MRI connectivity features have been radiated.

The symptoms of psychiatric diseases are common for many diseases. This situation creates difficulty to diagnose the disease. In a study carried out in 2018, a modeling that predicted anxiety and depression symptoms has been performed with PR [29]. Portugal et al. have examined the shapes of brain images during dynamic emotional facial processing. 74 healthy and 154 young and adult individuals consulting treatment for psychological distress have attended. Individuals who participated in the study and applied for treatment have been DSM-5 diagnoses of depressive disorder, anxiety disorder, eating disorder, exclusionary disorder, trauma related disorder, sleep disorder, somato-form disorder, and adjustment disorder. The average age of the participants is 21.6 and three quarters of the participants are women. They took to Magnetic Resonance Imaging (MRI) when the participants had fearful, angry and happy faces. They have analyzed to results with Gaussian Process Regression (GPR). A permutation test has been performed to estimate the significance level. As a result of the study, the researchers have emphasized that neuroimaging techniques may be a method for early diagnosis.

Depression could be appeared in many people with panic disorder. It may be necessary to have an idea about the brain waves of panic disorder patients. In this context, Lueken et al. [30] have researched the relationship of fear effect with brain images in individuals with panic disorder. They have taken the brain pictures of 59 panic attack patients with magnetic resonance imaging(MRI). They have examined these pictures with ML methods. They have used the Random Undersampling Boost algorithm (RUSBoost). The study has been resulted in 73% accuracy, 77% sensitivity, 70% specificity. According to the results, it has been observed panic disorder relation during fear in the patients. The researchers have able to explain the presence of external factors when researched the neurofunctional substrates of anxiety disorders. The comorbid can be observed with neurofunctional data. In this context, individualized treatments may also be possible.

Social anxiety disorder is a widespread mental disease that causes depression and panic attacks unless it is treated. Cognitive behavioral therapy (CBT), an effective treatment method, is applied to patients with SAD. However, after long-term treatment has ended, it is difficult to predict the patient's response to treatment. Mannson et al. [31] have researched that 1 year after finishing of Internet-transmitted CBT (iCBT), neural predictors of extended-period cure outcome for twenty six patients. The SVMs have been trained to separate patients who responded and did not respond to treatment according to blood oxygen level-dependent

*e-ISSN: 2148-2683*

(BOLD). There are two models for intervention which are 50% of the participants onset with iCBT and the other half onset with ABM. Patients have improved on the Liebowitz Social Anxiety Scale—Self-report version (LSAS-SR) from preprocessing to track. No significant change in disease markers has been detected when evaluated 1 year after treatment. The ratio of longtime responders to treatment has been calculated as 52% in patients and these results have been obtained with an accuracy of 92%. This analysis has distinguished from patients who respond to treatment from patients who do not respond, and during this analysis, BOLD reaction patterns in the dACC-amygdala regions of the brain have been investigated.

Boeke et al.[32] have used brain images of individuals with anxiety using the data of the Brain Genomics Superstruct Project (n = 531, 307 women). The model has been constructed by the scikit-learn package in Python. They have used R2 for test phase and they have evaluated various model classes which are ridge regression (L2), L1, partial least squares regression (PLSR), principal components regression (PCR) , Random Forest Regression (RFR), support vector regression (SVR) with a linear or polynomial kernel, relevance vector regression, and the "connectome-based predictive modeling" approach for discovery sample. With the help of permutation test p, the best model which is cross-validated R2 of .06 has been found in discovery sample [32]. But unfortunately, they have got failed during the generalization test within the holdout sample with R2 of 2.04, permutation test p . .05.

Considering that there is a relationship between social anxiety and facial feelings in attention processes related to psychopathology, in here focuses on examining this relationship with ML methods. It was done The Eye Movement examination with Hidden Markov Models (HMM) technique. This technique, which can cluster people's eye gestures into dissimilar strategy classes, has been chosen. Eye movements of sixty participants who have mixed level in social anxiety were examined. The eye movements' data for angry faces and neutral faces were start severally in the MATLAB tools. Chan et al. [33] have get the results that people who nonstop used the same strategy on obverse senses were more socially worries than people who altered their tracking strategy among dissimilar obverse senses.

Júnior et al. [34] aim to analyze patterns of rumination disorder from RDoC perspective and to specify which variables predict high levels of incompatible rumination against a trans diagnostic sample by using 200 patients' data with clinical diagnoses of schizophrenia, schizoaffective, bipolar, depression, anxiety disorders, obsessive compulsive and post-traumatic stress. Sociodemographic, serum levels of immune markers and BDNF, psychiatric symptoms and disorders, history of suicide and hospitalizations, functionality, medication use and comorbidities are used for ML algorithm. The prediction accuracy, sensitivity, and specificity of ML in identifying ruminants were determined by a robust cross-validation approach. Greater than possibility accuracy (> 70%) have get by means of all algorithms.

ML algorithms have been used to determine patient-reported outcome measures (PROMs) which are foretold anxiety disorder and major depressive disorder (MDD) of 637 individuals with immune-mediated inflammatory illness.

PROMS are trained by using neural network (NN), LR and RF models. Tennenhouse et al. [35] get the result that the area below the acceptor manager graph and Brier points in order

aligned from 0.87–0.91 for major depressive disorder models and 0.07 for MDD models, and from 0.79–0.83 and 0.09–0.11 for anxiety disorder models. NN and LR performed better than RF

Bokma et al. [36] proposed to foresee heal of 887 patients from anxiety disorders. These patients have been applied an ML with RF classifiers within 2 years. At the end of two years 484 patients had recovered. Here %90 of the data was used for training and %10 of the data for testing. RF Classifiers realized a cross-validated area-under-the-receiving-operator-characteristic-curve (AUC) of 0.67. It has aimed to predict the clinical and biological course of anxiety disorders and to predict the state of recovery by using ML technique. By following the individuals for 2 years, moderate predictive performance was observed in the improvement of anxiety disorders. It has been found that the prediction of recovery from anxiety disorders is mainly due to anxiety characteristics; It has been shown that recovery from anxiety disorders and major depressive disorders is mainly due to the characteristics of depression.

To predict SAD, threatening faces can be used. Half of the study group are SAD and half are healthy individuals. Their brain reaction to threatening countenances, threatening countenances, and threatening/happy countenances in 90 areas containing frontal, limbic, parietal, temporal, and occipital systems during functional MRI was used by Xing et al. [37]. Two-tailed independent t-tests and chi-square tests were applied to estimate subscriber typical. SVM model achieved that AUC is 0.72. Social threat perception has been studied in SAD. Brain regions outside of the fear period have been emerged to be important in predicting SAD [37]. The results have obtained show that activities in the regions that manage sensory and goal-oriented handles can perform a part in the diagnostic of SAD and offer a different approach.

In Priyaa et al.'s study [38], data were get and applied on five different ML algorithms between 348 employed and unemployed individuals by using the depression, anxiety and stress scale questionnaire (DASS21). These algorithms are DT, RF tree, naive bayes (NB), SVM and the K Nearest Neighbour (KNN) in R program. In this data set, the number of training and test set are 70 and 30, respectively. The result of the study is that NB has highest precision but the best model is RF. In NB algorithm, accuracies are 0.733, 0.855, 0.742 for anxiety, depression stress, respectively.

Kumar et al. [39] get and applied the data on eight different ML algorithms between individuals by using the depression, anxiety and stress scale questionnaire (DASS42 and DASS21). These algorithms are grouped in classes: probabilistic, nearest neighbor, NN, and tree. These algorithms are also naïve bayes, BN, k-star, local nearest neighbor, multilayer perceptron (MLP), radial basis function (RBF) network, RF and J48 by using WEKA data mining tool. In DASS42 data set, the number of training and test set are respectively 75 and 25. The result of the study is that, RBF network has highest accuracy, and also the worst model is J48. In RBF network, accuracies are %97.48, %96.02, %96.17 for anxiety, depression stress, respectively for DASS42 dataset. When the same methods were applied in DASS21 dataset, if we want to classify according to diseases; for anxiety the best result and accuracy (%100) was get in Random Forest Algorithm (RFA), for depression the best result and accuracy (%96.55) was get in RBF network, for stress the best result and accuracy (%96.55) was get in MLP.

Praveen et. al. [40] analyzed 840.000 tweets that send by 330 million active social media users and use this data by applying sentimental analysis with the python library Textblob and Latent Dirichlet Allocation (LDA) topic modeling over seven months (April 1 to October 30). Here the aim is that to understand common persons perspectives of what causes them stress, anxiety, and trauma because of COVID-19, to diagnose at early stage and to formulate treatment method. According to the results of sentimental analysis, Tweets with negative sentiment, Neutral emotional, positive emotional about COVID crises accounted for 34.4% (n = 289,091), 60.3% (n = 506,940 and 5.23% (n = 43,969), respectively. Second method which is LDA topic modeling, determined ten different topics from the corpus and divided the topics into various categories. The percentage of positive, negative, and neutral tweets for each month are presented.

The predictive performances of traditional LR, basic probabilistic ML methods, and automated ML (Auto-sklearn) by using data from the Netherlands Study of Depression and Anxiety which include participants who are 42.2 years old, 66.5% women, and 53.6% had a current mood or anxiety disorder were examined to predict depression and anxiety diagnoses at a 2-, 4-, 6-, and 9-year follow up [41]. At 4-, 6-, and 9-year follow up, accuracy values ranged between .73–.78, .71–.77, and .76–.79 for LR, NB classifier, and Auto-sklearn, respectively. However, when it comes to evaluating more complex data sets with individual item scores, Auto-sklearn is even better.

The electronic health record collection of a large number of biometric markers and patient characteristics, which can facilitate the detection of GAD and major depression disorder (MDD) in primary care institutions are constituted from a sample of 4,184 undergraduate students [42]. In the training model, 59 biomedical and demographic characteristics and a set of engineering characteristics from general health surveys were determined. The 70% (N = 2929) and 30% (N = 1255) of data was used for training and testing, respectively. According to XGBoost, RF, SVM, KNN and a NN tuned using Bayesian hyperparameter optimization, data was analyzed. Nemesure et. al. found AUC of 0.73 (sensitivity: 0.66, specificity: 0.7) and 0.67 (sensitivity: 0.55, specificity: 0.7) for GAD, and MDD, respectively.

Researchers have aimed to make dissimilar panic disorder from other anxiety disorders using a ML-based approach with heart rate variability (HRV) between a total of 60 (panic disorder) and 61 patients (other anxiety disorders), (between 20-65 years old) [43]. The used algorithms are RF, gradient boosting machine (GBM), SVM, ANN, and regularized LR. As a result, the best accuracy (0.784), followed by ANN (0.730), SVM (0.730), GBM (0.676) with The L1-regularized LR and RF (0.649) are obtained. LR also is of good performance in other measures, such as F1-score (0.790), originality (0.737), sensitivity (0.833), and Matthews correlation coefficient (0.572).

This research was constructed with 102 healthy volunteers (Male/Female: 54/48, between 20-70 years old and the data is divided into two independent data sets: training set and test set [44]. The training set consists of 75 samples, and the training set consists of 27 samples. the model was trained by (GLM) and supervised learning (SL). Photoplethysmography (PPG) was evaluated with a custom system, and participants' state anxiety (SA) was assessed by the State-Trait Anxiety Inventory (STAI-Y) test. As a result,  $r = 0.81$ ;  $p = 1.87 \cdot 10^{-9}$  were obtained and this show that PPG is an up and coming tool for emotion recognizing, which is proper for human-computer interaction applications.



Nicholas et al.[45] have purposed to estimate the alters in symptoms of major depression and GAD during the period from the previous to nine month trace in a passing controlled test of cross-diagnostic digital interposition based on pre-treatment data of participants with one group admission online concerned meaning therapy with feedback from a therapist (N = 303) and the other group receiving information related to stress management and coping (N = 329). The data were obtained by Patient Health Questionnaire-9 and GAD-7 item questionnaire before the intervention and after a 9-month follow-up and processed in R and ML modeling was performed in python with Sklearn such as L2, RF, GLM, GPR, Extreme Gradient Boosting (XGBoost), KNN and SVM. The basis characteristics could completely foresee changes in depressive symptoms in both treatment groups. It has demonstrated enabling personalized decision making about which people to refer to standalone digital interventions or mixed-stage care.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Comparisons of Training Models

There are three important types of ML Algorithms: SL which is widely used for data with precise mapping between input and output data, Unsupervised Learning (USL) in which the data is not clearly labeled as a different class, that is, there is no label, Reinforcement Learning which covers more areas of AI, allowing machines to interact with their dynamic environment to achieve their targets. All three paradigms are used everywhere to power intelligent applications and are classified as Figure 2 according to their areas of use.

Wearable sensor technology to foresee longtime (17–18-year) deterioration in GAD and panic disorder symptoms from actigraphy data on daytime movement and nighttime sleeping patterns was used for constructing deep learning models which to estimate whether participants experienced increased anxiety disorder symptoms across this period with the participants (N = 265) [46].

The study has been distinguished to three phase that first phase is occurred between 1995-1996 and here in participants carried out telephone interviews to capture mental health symptoms, second between 2004-2009 collecting wearable movement data from participants out of the UW-Madison study site and the last phase is occurred between 2013-2019 by re-interviewing regarding their mental health symptoms. Out-of-sample cross-validated results showed that wearable movement data is important identifier for which people will involvement in worsening of symptoms.

GPR, XGBoost. The selection of these algorithms varies according to the type and amount of data obtained. It has been observed that some algorithms and methods, including Elastic Net, PR, Regression Analysis, PCR, RVM, PLSR, Linear or Polynomial Kernel, CPM, HMM, LR, BN, K-Star, RBF Network, Auto-Sklearn, Xgboost, GBM, GLM, XGBoost have been studied only once. ADTree, GPR, J48, L1, Random Under Sampling, L2, Boost Algorithm, NN, NB, KNN, SVM, RF have took part in more than one study. It has seen that the most used ML method is RFA.

The size of samples in the articles varied. The articles have been completed with a minimum of 26 and a maximum of 330,000,000 participants. It has been seen that the number of samples is high for the articles where the RFA gives the best results. In this context, it could be said that the performance value of the RFA is related to the size of samples. Algorithms used in the studies have been compared in the Table 1 in terms of sample size, age, choose modalities, best modality and accuracy performance information.



Figure 2. Types of ML algorithms with definite use cases

In this review, original articles between 2015 and 2021 have been investigated. Among these years, two articles in 2015, one article in 2016, 2018, 2019, eight articles in 2020, seven articles in 2021 has examined. In this context, it is possible to say that ML studies on anxiety have increased in recent years.

In the last five years of ML-anxiety studies compiled and has determined that working with 30 different techniques. There have many methods and algorithms in ML which are ADTree, J48, Elastic Net, L1, RFAs, PR, Regression Analysis, RUSBoost, SVM, L2, L1: Principal Component Regression (PCR), RF: Relevance Vector Machine (RVM), PLSR, Linear Or Polynomial Kernel, Critical Path Method (CPM), HMM, NN, LR, NB, KNN, BN, K-Star, RBF Network, Auto-Sklearn, Xgboost, GBM, GLM, e-ISSN: 2148-2683



Table 1. Comparison of Algorithms used in the studies between 2015 and 2020.

References	Sample size	Age	Techniques	Best Practice	Performance (%)
[30]	59	18-65	RUSBoost	RUSBoost	73%
[31]	26	19-57	SVM	SVM	92%
[27]	1224	2-5	ADTree , J48	ADTree	96%
[29]	154	18-25	PR, Regression analysis, GPR	GPR	57%
[32]	531	18-35	L1, RFA, L2, PCR, RVM, PLSR, Linear or Polynomial Kernel	A stacked model that combined predictions from multimodal data.	95%
[28]	272	21-50	Elastic Net, L1, RF	Elastic net	78%
[33]	60	17-22	HMM	HMM	undefined
[34]	200	44.14±12.8	RUSBoost	RUSBoost	83%
[35]	637	51 mean	RFA, NN , LR	LR	87%
[36]	887	38.25 mean	RFA	RFA	67%
[37]	94	18-65	SVM	SVM	72%
[38]	348	20-60	DT, RFA, NB, SVM, KNN	RFA	73%
[39]	39,776	18-60	NB, BN, k-Star, KNN, MLP, RBF Network, RFA, J48	RFA	100%
[40]	330,000,000	some Indian Twitter users	Textblob Sentiment Algorithm, LDA	LDA	Undefined
[41]	2,981	42.2	LR, NB, Auto-Sklearn	Auto-Sklearn	79%
[42]	4,184	Less than 18, 18, 19, 20 and more than 20	Xgboost, RF, SVM, KNN, NN	XGBoost classifier	73%
[43]	121	20-65	RFA , GBM ,SVM, ANN	ANN	78%
[44]	102	20-70	GLM and SL	GLM	81%
[45]	632	undefined	L2, RF, GLM, GPR, XGBoost , KNN, And SVM.	GLM	95%
[46]	265	22-75	A deep auto-encoder paired with a multi-layered ensemble deep learning model and ensemble pipeline	A deep auto-encoder paired with a multi-layered ensemble deep learning model and ensemble pipeline	69%

Among the articles, only one has worked with childhood. The scarcity of the study indicates that useful studies could be made for early diagnosis for these age groups. Other articles have been studied with participants who were in adulthood. It is noteworthy that there is no study on adolescence among the studies. So much so that it could be interpreted that the selection was not preferred because it was difficult to detect anxiety in this period.

#### 4. Conclusions and Recommendations

ML technology has been applied to about all areas of human life to help and improve the problem solving ability of the system. With the application of these technologies, the field of psychiatry has improved to a greater extent. Psychiatric diagnosis methods have been implemented using a variety of ML methods, such as SVMs, NNs, Fuzzy Logic, DTs, etc., to help psychiatrists make precise disease diagnosis. Although all these techniques have improved precision, it is important to apply the correct algorithms of these methods with available data. Examined studies have been compared for sample size, age, techniques, best practice, performance values in Table 1. However, since f-measure value and other some measure values have not been shared equally in most of the studies, table comparison has been limited. In addition, the tool used in data analysis has been also important in terms of evaluating the results of the study. Lack of this information in most of the studies has been another limitation in terms of comparison. In this review, various researches are examined and analyzed with respect to algorithms of ML. Between these algorithms, RFA is the most preferred because of the best results obtained. RFA works with categorical data instead of numerical data. Data from patients have diagnosed with anxiety disorder are expected to be square. For this reason, it is meaningful to choose more algorithms that work with categorical data. In addition, a theoretical procedure is proposed that can help researchers to understand the complex relationship between human intelligence, body and behavior. These models, which are a new approach in the field of neuropsychiatry, are thought to have a critical role in neuropsychiatric care in the future. The fact that these techniques can process an unlimited amount of data will make a great contribution and guide the clinicians. In some researches which conducted to predict symptom severity of mood, anhedonia, and anxiety, have found that a core panel of symptoms mostly found in several PDs which have a heterogeneous nature, can be predicted. The fact that it can be applied in a shorter time and widely, and that it defines the symptom severity with high anticipation will make a significant contribution to psychiatry. In addition, PR methods that can be of clinical benefit in the evaluation of PDs will provide a comprehensive perspective to clinicians. Prompt diagnosis and treatment in young children with continuing brain development may minimize the risk of psychiatric illness later in life. The increase in reliable, affordable and accessible screening tools for this age group will make it easier to recognize early-onset anxiety disorders. It may provide a more widely applicable screening opportunity for multiple symptom areas and differential diagnosis difficulties of PDs. Studies conducted to predict comorbidity at the individual patient level and neural correlations on the strength of the neurological characteristics of agoraphobia and depression in panic disorder provide data that will contribute to the field with accurate comorbidity predictions. It is thought that study examining changes in eye movements of socially anxious people studies, which offer a new perspective on the relationship between the symptoms of psychopathologies and their relationship, will create

an advantage in the diagnosis and treatment processes. The results showed that studies on the pharmacogenetics of anxiety disorders with ML models will guide the discovery of possible functional mechanisms.

#### References

1. Yang, X., J. Lin and W. Zheng, *Research on learning mechanism designing for equilibrated bipolar spiking neural networks*. *Artif Intell Rev*, 2020. 53: p. 5189–5215. <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09818-5>
2. Górriz, J.M., J. Ramírez, A. Ortíz, F.J. Martínez-Murcia, F. Segovia, J. Suckling, M. Leming, Y.D. Zhang, J.R. Álvarez-Sánchez, G. Bologna, P. Bonomini, F.E. Casado, D. Charte, F. Charte, R. Contreras, A. Cuesta-Infante, R.J. Duro, A. Fernández-Caballero, E. Fernández-Jover, P. Gómez-Vilda, M. Graña, F. Herrera, R. Iglesias, A. Lekova, J.D. Lope, E. López-Rubio, R. Martínez-Tomás, M.A. Molina-Cabello, A.S. Montemayor, P. Novais, D. Palacios-Alonso, J.J. Pantrigo, B.R. Payne, F.P. López, M.A. Pinninghoff, M. Rincón, J. Santos, K. Thurnhofer-Hemsi, A. Tsanas, R. Varela and J.M. Ferrández, *Artificial intelligence within the interplay between natural and artificial computation: Advances in data science, trends and applications*. *Neurocomputing*, 2020. 410:p. 237-270, 0925-2312, <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.05.078>
3. Tuena, C., M. Chiappini, C. Repetto and G. Riva, *Artificial Intelligence in Clinical Psychology*. Reference Module in Neuroscience and Biobehavioral Psychology, Elsevier, 2022, ISBN 9780128093245, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818697-8.00001-7>.
4. Kour, H., J. Manhas and V. Sharma, *Usage and implementation of neuro-fuzzy systems for classification and prediction in the diagnosis of different types of medical disorders: a decade review*. *Artif Intell Rev* 2020. 53: p. 4651–4706. <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09804-x>
5. Riaz, M. And M.R. Hashmi, *m-polar neutrosophic soft mapping with application to multiple personality disorder and its associated mental disorders*. *Artif Intell Rev*, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09912-8>
7. Iritani S, C. Habuchi, H. Sekiguchi and Y. Torii, *Brain research and clinical psychiatry: establishment of a psychiatry brain bank in Japan Nagoya* *J Med Sci*, 2018. 80 (3): p. 309-315. [10.18999/nagjms.80.3.309](https://doi.org/10.18999/nagjms.80.3.309)
8. Poo, M.M., J.L. Du, N.Y. Ip, Z.Q. Xiong, B. Xu and T. Tan, *China Brain Project: basic neuroscience, brain diseases, and brain-inspired computing* *Neuron*, 2016. 92 (3) : p. 591-596. [10.1016/j.neuron.2016.10.050](https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.10.050)
9. Rose, N., *The Human Brain Project: social and ethical challenges*. *Neuron*, 2014. 82 (6): p. 1212-1215. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.06.001>
10. Liu, G.D., Y.C. Li, W. Zhang and L. Zhang L, *A brief review of artificial intelligence applications and algorithms for psychiatric disorders*. *Engineering*, 2019. 6(4): p. 462-467. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.06.008>
11. Buch, V.H., I. Ahmed and M. Maruthappu, *Artificial intelligence in medicine: current trends and future possibilities*. *Br J Gen Pract*, 2018. 68(668): p. 143-144. <https://doi.org/10.3399/bjgp18x695213>
12. Luxton, D.D., *An introduction to artificial intelligence in behavioral and mental health care*. In *Artificial intelligence in behavioral and mental health care*, Elsevier Academic Press, 2016, p. 1-26.

13. Arbabshirani, M.R., S. Plis, J. Sui and V.D. Calhoun, *Single subject prediction of brain disorders in neuroimaging: Promises and pitfalls*. Neuroimage, 2017. 145: p. 137-165. <https://dx.doi.org/10.1016%2Fj.neuroimage.2016.02.079>
14. Schoevers, R.A., C.D. van Borkul, F. Lamers, M.N. Servaas, J.A. Bastiaansen, A.T.F. Beekman and H. Riese, *Affect fluctuations examined with ecological momentary assessment in patients with current or remitted depression and anxiety disorders*. Psychological Medicine, 2020. 1: p. 1-10. [10.1017/S0033291720000689](https://doi.org/10.1017/S0033291720000689)
15. Gottschalk, M.G. and K. Domschke K, *Novel developments in genetic and epigenetic mechanisms of anxiety*. Current Opinion in Psychiatry, 2016. 29 (1) : 32-38. <https://doi.org/10.1097/yco.0000000000000219>
16. Schiele, M.A. and K. Domschke, *Epigenetics at the crossroads between genes, environment and resilience in anxiety disorders*. Genes, Brain, and Behavior, 2017. 17 : p. 1-15. [10.1111/gbb.12423](https://doi.org/10.1111/gbb.12423)
17. Beesdo-Baum, K. and S. Knappe, (201) *Developmental epidemiology of anxiety disorders*. Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America, 2012. 21 (3): p. 457-478. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.chc.2012.05.001>
18. Whiteford, H.A., L. Degenhardt, J. Rehm, A.J. Baxter, A.J. Ferrari, H.E. Erskine and T. Vos, *Global Burden of disease attributable to mental and substance use disorders: Findings from the Global Burden of Disease Study 2010*. Lancet, 2013. 382 (9904): p. 1575-1586. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(13\)61611-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(13)61611-6)
19. American Psychiatric Association, *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th. Ed.)*. 2013, Washington, DC: APA.
20. Bandelow, B., S. Michaelis and D. Wedekind, *Treatment of anxiety disorders*. Dialogues in clinical neuroscience, 2017. 19(2): p. 93-107. <https://dx.doi.org/10.31887%2FDCNS.2017.19.2%2Fbandelow>
21. Graham, S., C. Depp, E.E. Lee, C. Nebeker, X. Tu, H.C. Kim and D.V. Jeste, *Artificial intelligence for mental health and mental illnesses: an overview*. Current psychiatry reports, 2019. 21(11): 116. [10.1007/s11920-019-1094-0](https://doi.org/10.1007/s11920-019-1094-0)
22. Wolfers, T., J.K. Buitelaar, C.F. Beckmann, B. Franke and A.F. Marquand, *From estimating activation locality to predicting disorder: a review of pattern recognition for neuroimaging-based psychiatric diagnostics*. Neuroscience & Biobehaviora, 2015. 157: p. 328-349. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.08.001>
23. Cornblath, E.J., D.M. Lydon-Staley and D.S. Bassett DS, *Harnessing networks and machine learning in neuropsychiatric care*. Current opinion in neurobiology, 2019. 55: p. 32-39. [10.1016/j.conb.2018.12.010](https://doi.org/10.1016/j.conb.2018.12.010)
24. Garcia-Ceja, E., M. Riegler, T. Nordgreen, P. Jakobsen, K.J. Oedegaard and J. Tørresen, *Mental health monitoring with multimodal sensing and machine learning: A survey*. Pervasive and Mobile Computing, 2018. 51: p. 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2018.09.003>
25. Trumpff, C., A. Marsland, R.P. Sloan, B.A. Kaufman and M. Picard, *Predictors of ccf-mtDNA reactivity to acute psychological stress identified using machine learning classifiers: A proof-of-concept*. Psychoneuroendocrinology, 2019. 107: p. 82-92. [10.1016/j.psyneuen.2019.05.001](https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2019.05.001)
26. Smets, E., P. Casale, U. Großekathöfer, B. Lamichhane, W. De Raedt, K. Bogaerts and C. Van Hoof, *Comparison of machine learning techniques for psychophysiological stress detection*. In International Symposium on Pervasive Computing Paradigms for Mental Health, 2015. 604: p. 13-22. Springer, Cham. [10.1007/978-3-319-32270-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-32270-4_2)
27. Carpenter, K.L., P. Sprechmann, R. Calderbank, and G.S. Egger, *Quantifying risk for anxiety disorders in preschool children: A machine learning approach*. PloS one, 2016. 11(11) , e0165524 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165524>
28. Mellem, M.S., Y. Liu, H. Gonzalez, M. Kollada and W.J. Martin, *Machine learning models identify multimodal measurements highly predictive of transdiagnostic symptom severity for mood, anhedonia, and anxiety*. Biological Psychiatry Cogn Neurosci Neuroimaging, 2020. 5(1): p. 56-67. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2019.07.007>
29. Portugal, L.C., J. Schrouff, R. Stiffler, M. Bertocci, G. Bebko, H. Chase and J. Mourão-Miranda, *Predicting anxiety from wholebrain activity patterns to emotional faces in young adults: a machine learning approach*. NeuroImage: Clinical, 2018. 23: 1018. <https://dx.doi.org/10.1016%2Fj.nicl.2019.101813>
30. Lueken, U., B. Straube, Y. Yang, T. Hahn, K. Beesdo-Baum, H.U. Wittchen and B. Pfleiderer, *Separating depressive comorbidity from panic disorder: a combined functional magnetic resonance imaging and machine learning approach*. Journal of affective disorders, 2015. 184: p. 182-192. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2015.05.052>
31. Månsson, K.N., *Predicting long-term outcome of Internet-delivered cognitive behavior therapy for social anxiety disorder using fMRI and support vector machine learning*. Translational psychiatry, 2015. 5(3): e530. <https://dx.doi.org/10.1038%2Ftp.2015.22>
32. Boeke, E.A., A.J. Holmes and E.A. Phelps, *Toward Robust Anxiety Biomarkers: A Machine Learning Approach in a Large-Scale Sample*. Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging, 2019. 5(8): p. 799-807. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2019.05.018>
33. Chan, F.H., T.J. Barry, A.B. Chan and J.H. Hsiao, *Understanding visual attention to face emotions in social anxiety using hidden Markov models*. Cognition and Emotion, 2020. 34(8): p. 1704-1710. <https://doi.org/10.1080/02699931.2020.1781599>
34. Júnior, É.D.M.S., I.C. Passos, J. Scott, G. Bristot, E. Scotton, L.S.T Mendes and G.A. Salum, *Decoding rumination: A machine learning approach to a transdiagnostic sample of outpatients with anxiety, mood and psychotic disorders*. Journal of psychiatric research, 2020. 121: p. 207-213. [10.1016/j.jpsychores.2019.12.005](https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2019.12.005)
35. Tennenhouse, L.G., R.A. Marrie, C.N. Bernstei and L.M. Lix, *Machine-learning models for depression and anxiety in individuals with immune-mediated inflammatory disease*. Journal of Psychosomatic Research, 2020. 134:110126. [10.1016/j.jpsychores.2020.110126](https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2020.110126)
36. Bokma, W.A., P. Zhutovsky, E.J. Giltay, R.A. Schoevers, B.W. Penninx, A.L. Van Balkom and G.A. Van Wingen, *Predicting the naturalistic course in anxiety disorders using clinical and biological markers: a machine learning approach*. Psychological Medicine, 2020. 11: p. 1-11. <https://doi.org/10.1017/S0033291720001658>
37. Xing, M., J.M. Fitzgerald and H. Klumpp, *Classification of Social Anxiety Disorder With Support Vector Machine Analysis Using Neural Correlates of Social Signals of Threat*. Frontiers in psychiatry, 2020. 11: 144. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00144>

38. Priyaa, A., S. Garga and N.P. Tigga, *Predicting Anxiety, Depression and Stress in Modern Life using Machine Learning Algorithms*. Procedia Computer Science, 2020, p. 1258-1267.
39. Kumar, P., S. Garg and A. Garg, *Assessment of Anxiety, Depression and Stress using Machine Learning Models*. Procedia Computer Science, 2020. 171: p. 1989-1998. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.213>
40. S.V.Praveen, RajeshIttamalla, GerardDeepak, *Analyzing Indian general public's perspective on anxiety, stress and trauma during Covid-19 -A machine learning study of 840,000 tweets*, Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews, Volume 15, Issue 3, May–June 2021, Pages 667-671, <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2021.03.016>
41. Wessel A. van Eeden, Chuan Luo, Albert M. van Hemert, Ingrid V.E. Carlier, Brenda W. Penninx, Klaas J. Wardenaar, Holger Hoos, Erik J. Giltay, *Predicting the 9-year course of mood and anxiety disorders with automated machine learning: A comparison between auto-sklearn, naïve Bayes classifier, and traditional logistic regression*, Psychiatry Research, Volume 299, 2021, 113823, ISSN 0165-1781, <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2021.113823>
42. Matthew D. Nemesure, Michael V. Heinz, Raphael Huang & Nicholas C. Jacobson, *Predictive modeling of depression and anxiety using electronic health records and a novel machine learning approach with artificial intelligence*, Scientific Reports 11, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81368-4>
43. Kyoung-SaeNaa, Seo-EunChob, Seong-JinChoa, *Machine learning-based discrimination of panic disorder from other anxiety disorders*, Journal of Affective Disorders, Volume 278, 1 January 2021, 1-4, <https://doi.org/10.1016/j.jad.2020.09.027>
44. David Perpetuini, Antonio Maria Chiarelli, Daniela Cardone, Chiara Filippini, Sergio Rinella, Simona Massimino, Francesco Bianco, Valentina Bucciarelli, Vincenzo Vinciguerra, Piero Fallica, Vincenzo Perciavalle, Sabina Gallina, Sabrina Conoci, Arcangelo Merla, PeerJ, *Prediction of state anxiety by machine learning applied to photoplethysmography data*, 2021 Jan 15;9:e10448. doi: 10.7717/peerj.10448. PMID: 33520434; PMCID: PMC7812926
45. Nicholas C.Jacobson, Matthew D.Nemesure, *Using Artificial Intelligence to Predict Change in Depression and Anxiety Symptoms in a Digital Intervention: Evidence from a Transdiagnostic Randomized Controlled Trial*, Psychiatry Research, Volume 295, 2021, 113618, ISSN 0165-1781, <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.113618>
46. Nicholas C. Jacobson, Damien Lekkas, Raphael Huang, Natalie Thomas, *Deep learning paired with wearable passive sensing data predicts deterioration in anxiety disorder symptoms across 17–18 years*, Journal of Affective Disorders, Volume 282, 2021, Pages 104-111, ISSN 0165-0327, <https://doi.org/10.1016/j.jad.2020.12.086>
47. Kurban, H. (2021). Metin Madenciligi ile Tibbi Tedavi Alanlarının Yakınlıklarının Ölçülmesi . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (21) , 518-526 . [10.31590/ejosat.833199](https://doi.org/10.31590/ejosat.833199)





# Yapay Sinir Ağları Kullanarak Türkiye Traktör Satış Adedinin Tahmin Edilmesi

Çağdaş Civelek<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3669-488X), [ccivelek@cu.edu.tr](mailto:ccivelek@cu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 26 Eylül 2021 ve Kabul Tarihi 23 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1000964)

**ATIF/REFERENCE:** Civelek, Ç. (2021). Yapay Sinir Ağları Kullanarak Türkiye Traktör Satış Adedinin Tahmin Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 375-381.

## Öz

Traktör satış tahmini, traktör üreticileri ve bayileri açısından gelecek dönemdeki planlamaların yapılması açısından büyük önem taşımaktadır. Satış tahmini pek çok değişkene bağlı olması sebebi ile oldukça zor bir problemdir. Günümüzde ise yapay sinir ağları yöntemleri ile geçmişe dönük verilerden yola çıkılarak tahmin gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada 2016-2019 yılları arasındaki seçilmiş veriler kullanılarak yapay sinir ağları ile gerçekleştirilen analizlerle traktör satış tahmini gerçekleştirilmiştir. İleri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağı metodu kullanılarak 2 ve 3 katmanlı olarak gerçekleştirilen test sonuçlarına göre en iyi tahminin LOGSIG transfer fonksiyonunun kullanıldığı 3 katmanlı, 1. ara katmanında 2 ve 2. ara katmanında 4 nöron bulunan yapay sinir ağı tipinde en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tarım Traktörleri, Traktör Satış Tahmini, Yapay Sinir Ağları.

## Tractor Sales Forecasting for Turkey Using Artificial Neural Network

### Abstract

Tractor sales forecasting has a high importance for tractor manufacturers and dealers for future planning. However, sales forecasting is not an easy problem to be solved. Nowadays, by using artificial neural networks tools future predictions could be made using past data. In this study using selected past data from 2016 to 2019, tractor sales forecasting was predicted using artificial neural network. Using feed-forward back propagation for 2 and 3 layered neural networks, it was found out that the best prediction was obtained by using LOGSIG transfer function for 3-layered artificial neural network with 2 neurons in the first layer and 4 neurons in the second layer.

**Keywords:** Agricultural Tractors, Tractor Sales Forecasting, Artificial Neural Networks.

\* Sorumlu Yazar: [ccivelek@cu.edu.tr](mailto:ccivelek@cu.edu.tr)

## 1. Giriş

Türkiye'deki traktör sayısı son 20 yıl içerisinde nerede ise 2 kat artarak 2000 yılında 1 159 070'ten, 2020 yılında 1 958 727'ye ulaşmıştır. 2004-2014 yılları arasındaki son 10 yılda her yıl için trafiğe kaydedilen traktör sayısı 17 bin ile 62 bin arasında sürekli değişkenlik gösterirken, trafikten kaydı silinen traktör sayısı ise yıllık 1000 ile 3000 arasında değişmektedir (Civelek, 2016). Bir sonraki yıl satılması beklenen traktör sayısının tahmin edilebilmesi traktör ve yedek parça üreticileri ile diğer yan sanayi parça üreticileri ve traktör bayilerinin ileriye dönük satış ve satış sonrası planlamalarını yapabilmeleri açısından büyük önem taşımaktadır. Satış, özellikle de traktör satış tahmini pek çok ekonomik değişkeni içerisinde barındırması sebebi ile çözülmesi pek de kolay olmayan problemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tarım, iklim ve ekonomik koşullardan oldukça etkilenen bir üretim alanıdır. Bu iki koşulun tek başına veya birlikte olumlu veya olumsuz yönde ilerlemesi kısa vadede etkisini hızla göstermekte, buna bağlı olarak ilk olarak üretici son olarak da son kullanıcı tarafında etkisini hızla göstermektedir. Bu nedenle çiftçinin traktör ve tarım alet-makine talebinin yıl içerisinde ve yıllar arasında hızlı bir değişikliğe uğraması mümkündür.

Satış tahmininde en çok kullanılan yöntemler zaman serileri analizi ve karma yöntemler olarak ikiye ayrılabilir. En çok kullanılan tahmin metotları olarak çoklu lineer regresyon, çoklu lineer olmayan regresyon, otoregresif entegre hareketli ortalama modeli (autoregressive integrated moving average, ARIMA) ve yapay sinir ağları karşımıza çıkmaktadır. Satış tahminine yönelik olarak geçmişe dönük yapılan literatür taramasında ise traktör ve otomotiv sektörüne ait tahmin çalışmalarında ARIMA ve yapay sinir ağı modellerinin kullanıldığı belirlenmiştir.

Biondi ve ark. (1998) İtalya, Fransa ve Amerika için basit traktör talep tahmin modellerini tek değişkenli ve çok değişkenli olarak iki farklı yöntemle geliştirmişlerdir. Tek değişkenli modellerinde ARIMA, çok değişkenli modellerinde ise çiftlik değeri, traktör fiyat indeksi, traktör stoğu ve bir önceki yılın traktör talebi olan değişkenlerden yararlanarak dinamik regresyon modeli kullanmışlardır. Sonuç olarak ARIMA modelinin, çok değişkenli modellerle aynı istatistiksel doğruluğa sahip olduğunu belirlemişler, traktör tahmin modellerinin kısa periyotlar için düşük hata derecesine sahip olduğunu, uzun periyotlar için yapılan tahminlerde ise tahmin hatalarının artmasına bağlı olarak arttığını açıklamışlardır.

Unakıtan ve Akdemir (2007) ARIMA modeli kullanarak Türkiye traktör talebinin belirlenmesi üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada, 1961-2003 yılları arasındaki FAO'nun (Food and Agriculture Organization) verilerinden yararlanmışlardır. Bağımsız değişkenler olarak kümülatif sermaye, sermaye büyüme oranı, üretim, ihracat ve ithalat verilerinden yararlanarak ileri yıllardaki traktör talebini tahmin etmişler, 2015 yılında yıllık talebin 15000 adede ulaşacağı ve toplam traktör sayısı artış oranının tarım kesiminde çalışan sayısının azalmasına bağlı olarak azalacağını belirtmişlerdir.

Karaatlı ve ark. (2012), yapay sinir ağları kullanarak otomobil satış adedinin ileriki yıllara dönük tahmin edilmesi üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada, 2007-2011 yılları arasındaki 7 farklı bağımsız değişkenden yararlanarak yapay sinir ağı kurmuşlar ve 1. ara katmanında 4, 2. ara katmanında 3 nöron olan 3 ara katmanlı yapay sinir ağının %16.82 MAPE (mean

absolute percentage error) değeri ile en iyi sonucu verdiğini belirlemişlerdir.

Efendigil ve ark. (2009) talep tahmini yapan bir karar destek sisteminde yapay sinir ağları ile bulanık mantık modellerini karşılaştırmışlardır. Dayanıklı tüketim malları üzerine yaptıkları çalışmada toplam 24 aylık birim satış fiyatı, ürün kalitesi, müşteri tatmin derecesi, promosyonların etki derecesi verilerini bağımsız, talep miktarını bağımlı değişken olarak kullanmışlardır. Yapay sinir ağı ve bulanık mantık modellerine uygulanan çift taraflı metodunun daha düşük MAPE değeri sunarak, bulanık mantık modelinde yapay sinir ağı modellerine göre daha iyi sonuç verdiğini belirlemişlerdir.

Yapay sinir ağları, yapay zekâ ve makine öğrenmesinin bir kombinasyonu olarak tanımlanmıştır (Gurjar ve Patel, 2021). Biyolojik sinir ağları, birbirine bağlı nöronlardan oluşmaktadır. Sinirsel aktiviteler ise, bir nörona oluşan aktivitenin elektrokimyasal değişimlerle diğer nörona geçmesi ile gerçekleşir. Bir nöron ise, birden çok nöronla temas kurabilmektedir fakat, her bağlantının haberleşme önceliği eşit değildir. Yapay sinir ağları temel yapısını biyolojik sinir ağlarından almaktadır (Graupe, 2013). Yapay sinir ağları basit ve çok katmanlı olmak üzere temel olarak iki farklı kategoriye ayrılmaktadır. Basit yapay sinir ağları Perceptron, Artron, Adaline, Madaline olarak 3'e, çok katmanlı sinir ağları ise Geri Yayılım, Hopfield, Karşı Yayılma ve Lamstar olmak üzere 4'e ayrılmaktadır. Hazırlanan bu çalışmada ise, 1968 yılında Rumelhart, Hinton ve Williams tarafından geliştirilen ve ara katmanlardaki nöronların ağırlıklarının ayarlanmasına imkân tanıyan geri yayılım modeli kullanılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Traktör talebi tahmin modeli için bağımlı değişken olarak 2016-2019 yılları arasında trafiğe kaydı yapılan traktör sayısı (TKTS) (Türkiye İstatistik Kurumu, 2021a), bağımsız değişkenler olarak kişi başı gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH – tarım, orman ve balıkçılık) (Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, 2021), dolar fiyatı (D) (Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, 2021), tarımsal girdi fiyat indeksi (TGFE) (Türkiye İstatistik Kurumu, 2021b), reel kesim güven indeksi (RKGE) (Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, 2021), ulaştırma ve haberleşme harcamaları (UHH) (Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, 2021), tüketim harcamaları (TH) (Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, 2021), taşıt kredileri (TK) (Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, 2021) kullanılmıştır (Tablo 1). Trafiğe kaydı yapılan traktör sayısı ve tarımsal girdi fiyat indeksi değerleri Türkiye İstatistik Kurumu veri tabanlarından, diğer veriler ise Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası veri tabanlarından elde edilmiştir.

Kullanılan veriler SPSS programı kullanılarak Durbin-Watson testine tabi tutulmuş, hata terimlerinin otokorelasyon değerleri incelenmiş ve Durbin-Watson test sonucu 1.542 bulunmuştur. Sonucun 1.5 ile 2.5 arasında olması verilerden elde edilen hata terimlerinin rastlantısal olduğunu göstermiştir. Bu sonuca göre kullanılan verilerden yola çıkılarak yapay sinir ağları ile traktör satışlarının tahmin edilebileceği anlaşılmıştır.

Veriler MATLAB R2019b yazılımında yapay sinir ağları ile tahmin modellerinin kurulabilmesi için Eşitlik 1 kullanılarak normalize edilmiştir (Yavuz ve Devenci, 2012).

$$X' = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

Formülde  $X'$  verinin normalize hali,  $X$  gerçek veri,  $X_{\min}$  veri setindeki en küçük değer ve  $X_{\max}$  veri setindeki en büyük değerdir.

Çalışma MATLAB yazılımının içerisinde yer alan yapay sinir ağları araç takımı (nntool) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Testlerde daha önceden belirlenen iki ve üç ara katmanlı yapay sinir ağları için ileri beslemeli geri yayılım metodu (feed-forward backprop) kullanılmıştır. Eğitim fonksiyonu olarak Levenberg-Marquardt, öğrenme fonksiyonu olarak LEARNGDM ve performans ölçütü olarak MSE (hata ortalamalarının karekökü) kullanılmıştır. İki katmanlı yapay sinir ağlarında ara katmanda 6 nöron ve çıkış katmanında 1 nöron bulunmaktadır. Üç katmanlı yapay sinir ağında ise ara katmanlarda 2 ve 4, 4 ve 3 nöron olacak şekilde test aşamaları planlanmıştır. Her test aşaması için logaritmik sigmoid (LOGSIG), doğrusal (PURELIN) ve tanjant sigmoid (TANSIG) transfer fonksiyonları için tekrar edilmiştir (Tablo 2). Her bir yapay sinir ağı eğitimi tamamlandıktan sonra elde edilen ağı 2020 yılına ait 7 farklı değişkenin sisteme tanımlanması ile 2020 yılı traktör satış tahmin sayıları elde edilmiştir (Tablo 3).

Elde edilen veriler 2020 yılı gerçek satış rakamları ile karşılaştırılmıştır. Gerçek ve tahmin edilen satış rakamları RMSE (hata kareleri ortalamasının karekökü) (Eşitlik 2) ve MAPE (mutlak hata oranları ortalaması) (Eşitlik 3) değerlerinin Excel programında hesaplanması ile karşılaştırılmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_p)^2}{n}} \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{|y_i - y_p|}{y_i} \right) \quad (3)$$

Eşitlik 2 ve 3'te;

$y_i$ : gerçek değer,

$y_p$ : tahmin edilen değer,

$n$ : örnek sayısıdır.

Tablo 1. Bağımsız Değişkenlerin 2016-2019 Yılları Arasına Ait Değerleri

Yıl	Ay	GSYH (T,O,B)	D	TGFE	RKGE	UHH	TH	TK	TKTS
2016	1	1430162.30	3.00	103.52	103.20	12956.90	107972.40	29.00	3901
	2	1430162.30	2.94	103.52	104.60	13224.50	109722.70	262.00	4915
	3	1430162.30	2.89	103.52	107.20	13339.70	110740.70	355.00	7361
	4	2204806.91	2.83	103.52	110.50	13353.00	112715.80	682.00	6835
	5	2204806.91	2.92	103.52	110.20	13443.70	113581.70	1515.00	6810
	6	2204806.91	2.91	103.52	107.70	13403.80	114288.40	4755.00	5724
	7	2467751.80	2.96	103.52	108.00	13515.80	114626.90	7825.00	3992
	8	2467751.80	2.96	103.52	102.20	13463.10	113533.60	17832.00	5410
	9	2467751.80	2.96	103.52	106.10	13707.90	115266.70	27401.00	5120
	10	2222619.88	3.07	103.52	101.00	13744.90	116007.20	34938.00	7544
	11	2222619.88	3.27	103.52	103.50	13630.20	116493.40	43079.00	7224
	12	2222619.88	3.49	103.52	97.60	13858.70	117528.30	49818.00	7761
2017	1	1574123.34	3.73	113.09	97.10	14037.50	119388.60	57371.00	4222
	2	1574123.34	3.67	113.09	105.90	13965.40	119602.50	66248.00	5180
	3	1574123.34	3.66	113.09	108.90	13874.20	120739.80	77426.00	7073
	4	2465987.34	3.65	113.09	111.20	13934.70	121806.60	89263.00	7067
	5	2465987.34	3.56	113.09	109.20	13960.30	122815.00	102125.00	7345
	6	2465987.34	3.52	113.09	112.40	13875.50	123266.20	115805.00	5657
	7	2790059.11	3.56	113.09	109.50	14599.50	124346.60	128308.00	5321
	8	2790059.11	3.51	113.09	110.70	14679.50	123882.00	147871.00	4610
	9	2790059.11	3.47	113.09	111.60	14719.40	125860.20	160834.00	6267
	10	2613656.72	3.66	113.09	109.50	14814.20	128719.80	179969.00	7932
	11	2613656.72	3.88	113.09	106.30	14949.10	130467.60	201733.00	7605
	12	2613656.72	3.85	113.09	103.30	14968.00	130516.70	213287.00	7514
2018	1	1906258.77	3.77	136.04	108.30	15572.00	132146.60	223064.00	4679
	2	1906258.77	3.78	136.04	110.80	15364.60	133191.10	244236.00	4497
	3	1906258.77	3.88	136.04	111.90	15503.70	134645.60	270142.00	6302
	4	2959864.52	4.05	136.04	111.20	15651.00	136786.90	293949.00	5639
	5	2959864.52	4.41	136.04	109.90	15746.50	137949.50	330769.00	4923
	6	2959864.52	4.62	136.04	104.60	15865.60	140553.30	344849.00	3425
	7	3397009.81	4.74	136.04	102.70	15867.60	141338.40	361834.00	4015
	8	3397009.81	5.73	136.04	96.40	16193.40	145750.60	362139.00	2836
	9	3397009.81	6.36	136.04	89.60	16406.70	153022.70	305713.00	3793
	10	3011425.22	5.86	136.04	87.60	16421.10	157609.90	159146.00	3913
	11	3011425.22	5.37	136.04	92.80	16007.30	156883.90	153262.00	3725
	12	3011425.22	5.30	136.04	91.50	15888.80	157115.50	150557.00	4224

2019	1	2414931.92	5.37	156.99	93.00	16226.90	159046.30	148404.00	1506
	2	2414931.92	5.26	156.99	97.20	16222.00	160808.10	152790.00	1582
	3	2414931.92	5.44	156.99	102.10	16409.30	161515.00	161942.00	2359
	4	3723901.95	5.73	156.99	105.50	16798.30	165662.80	168681.00	2482
	5	3723901.95	6.05	156.99	98.90	17108.10	167515.10	186710.00	2685
	6	3723901.95	5.81	156.99	102.50	16850.20	167321.80	195412.00	1878
	7	4144388.81	5.67	156.99	98.30	16925.50	167818.30	207512.00	2558
	8	4144388.81	5.62	156.99	102.50	16793.40	169192.70	215421.00	1942
	9	4144388.81	5.71	156.99	98.80	18128.60	172809.40	211578.00	2642
	10	3635683.00	5.78	156.99	100.90	18140.90	174773.20	209701.00	3145
	11	3635683.00	5.73	156.99	102.00	18114.10	174668.00	207023.00	3321
	12	3635683.00	5.83	156.99	103.60	18077.90	176015.60	203997.00	4120

Tablo 2. MATLAB test aşamaları

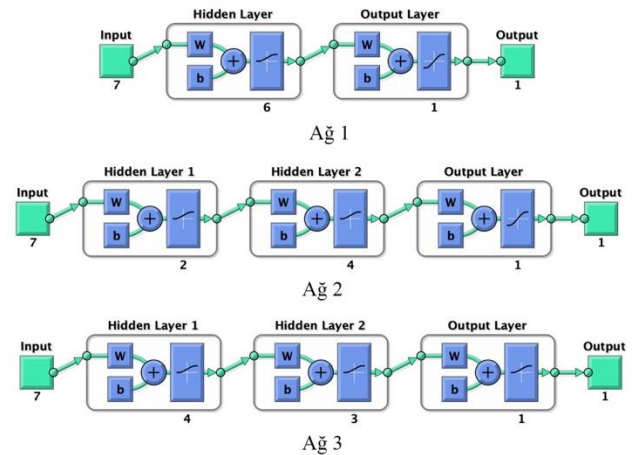
Test Aşamaları	2 katman 6:1 nöron	3 katman 2:4:1 nöron	3 katman 4:3:1 nöron
1	LOGSIG fonksiyonu	LOGSIG fonksiyonu	LOGSIG fonksiyonu
2	PURELIN fonksiyonu	PURELIN fonksiyonu	PURELIN fonksiyonu
3	TANSIG fonksiyonu	TANSIG fonksiyonu	TANSIG fonksiyonu

Tablo 3. 2020 Yılı Traktör Satış Tahmininde Kullanılan Veriler

Yıl	Ay	GSYH (T,O,B)	D	TGFE	RKGE	UHH	TH	TK
2020	1	2875145.20	5.93	164.31	104.10	18075.30	178405.00	206634.00
	2	2875145.20	6.06	165.09	106.90	19846.70	182451.90	204746.00
	3	2875145.20	6.33	165.30	99.70	19298.50	182867.20	208630.00
	4	4204511.00	6.83	166.60	66.80	19275.10	183545.50	218256.00
	5	4204511.00	6.96	167.61	76.90	21085.00	188413.60	239737.00
	6	4204511.00	6.82	167.89	92.60	20580.60	189467.40	258581.00
	7	4919450.50	6.86	168.92	100.70	20750.00	191094.80	278580.00
	8	4919450.50	7.27	171.34	106.20	20568.40	191775.70	294982.00
	9	4919450.50	7.52	175.30	105.30	20364.10	195858.30	312756.00
	10	4281907.92	7.89	180.10	108.10	20396.70	198594.20	348182.00
	11	4281907.92	8.02	185.92	103.90	20670.80	201208.90	389832.00
	12	4281907.92	7.73	190.98	106.80	20792.00	202059.80	412918.00

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

2016-2019 yılları arasındaki GSYH, D, TGFE, RKGE, UHH ve TH verilerinin MATLAB programında bağımsız değişkenler olarak tanımlanması ile 2 ve 3 ara katmanlı yapay sinir ağları oluşturulmuştur. Kurulan yapay sinir ağı modelleri eğitim modellerinin grafiksel gösterimi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. MATLAB yazılımında kurulan yapay sinir ağı modelleri



Yapay sinir ağı eğitiminde kullanılan temel parametreler olarak, döngü sayısı (epochs) 1000 ve en fazla başarısız olma sayısı (max\_fail) 100 olarak tanımlanmıştır (Şekil 2). Yapay sinir ağlarının eğitim performansları MSE (karelerin ortalamasının karekökü) ve R (korelasyon) katsayıları ile incelenmiştir. MSE değerleri sırası ile LOGSIG, PURELIN ve TANSIG transfer fonksiyonlarına göre 6:1 ağ için 0.0133, 0.0164 ve 0.0113; 2:4:1 ağ için 0.0157, 0.0207 ve 0.0179; 4:3:1 ağ için ise 0.0539, 0.0182 ve 0.0117 olarak belirlenmiştir. Her üç ağ için belirlenen bu değerler eğitilen yapay sinir ağının 2016-2019 yılları arasındaki verileri iyi bir şekilde tahmin edebildiğini göstermektedir. R değerleri sırası ile LOGSIG, PURELIN ve TANSIG transfer fonksiyonlarına göre 6:1 ağ için 0.93, 0.89 ve 0.94; 2:4:1 ağ için 0.92, 0.89 ve 0.94; 4:3:1 ağ için ise 0.84, 0.88 ve 0.94 olarak hesaplanmıştır.

Training Info		Training Parameters	
showWindow	true	mu	0.001
showCommandLine	false	mu_dec	0.1
show	25	mu_inc	10
epochs	1000	mu_max	10000000000
time	Inf		
goal	0		
min_grad	1e-07		
max_fail	100		

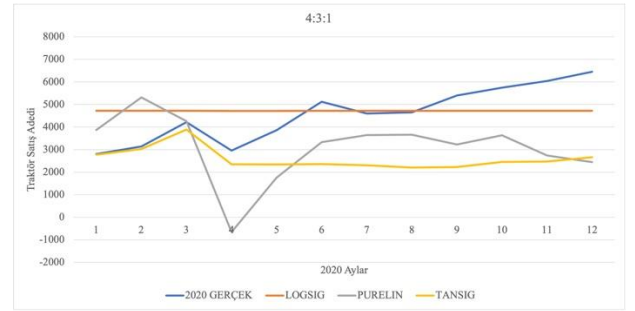
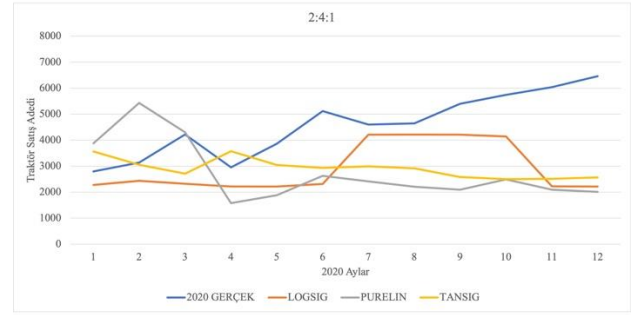
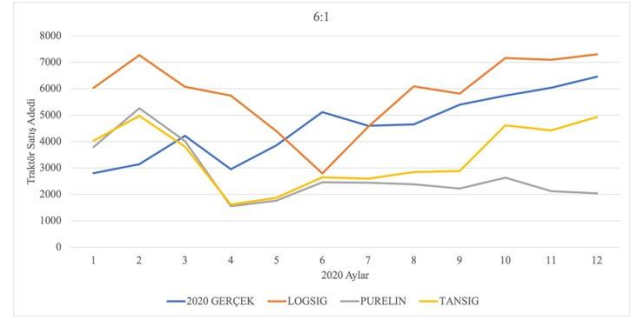
Şekil 2. Yapay sinir ağı eğitiminde kullanılan parametreler

Yapay sinir ağı eğitimlerinin tamamlanmasının ardından her bir yapay sinir ağı için LOGSIG, PURELIN ve TANSIG transfer fonksiyonlarına göre simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve normalize edilmiş satış sayıları elde edilmiştir. Normalize olarak elde edilen bu veriler, EXCEL yazılımında ters normalizasyon işlemine tabi tutularak tahmin edilen dönüştürülmüş satış rakamları elde edilmiş (Tablo 4, 5, 6) ve elde edilen tahmini sayıların grafiksel gösterimi Şekil 3'te verilmiştir.

Yapay sinir ağlarından elde edilen verilerden yola çıkılarak EXCEL'de hesaplanan RMSE ve MAPE değerlerine ait sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir. MAPE değerleri %10'un altında olan modeller yüksek doğruluğa sahip, %10 ile %20 arasında olan modeller doğru tahminler, %20 ile %50 arasındaki modeller kabul edilebilir, %50'den yüksek olan modeller ise hatalı modeller olarak sınıflandırılmaktadır (Witt and Witt, 1992; Tidswell ve ark., 2001).

Sonuçlar incelendiğinde 4:3:1 LOGSIG transfer fonksiyonu ile elde edilen sonuçların en düşük RMSE ve MAPE değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Fakat Tablo 6 incelendiğinde, bu durumun 2020'nin tüm ayları için tahmin edilen traktör satış adetlerinin eşit çıkmasından kaynaklandığı görülmüştür ve bu nedenle bu ağ en uygun tahmin ağı olmaktan elenmiştir. Geriye kalan yapay sinir ağı modelleri incelendiğinde ise 2:4:1 tipinde LOGSIG transfer fonksiyonu ile eğitilmiş modelin en iyi model olduğu belirlenmiştir. Bu modeli ise 6:1 TANSIG ağı %38 MAPE değeri ile 2. ve 4:3:1 TANSIG ağı ise 38.6 MAPE değeri ile 3. olarak takip etmektedir.

Elde edilen sonuç, Karaatlı ve ark. (2012) tarafından otomobil satış tahmini için geliştirilen yapay sinir ağına olduğu gibi 3 ara katmana sahip olması bakımından benzerlik göstermekle birlikte, %38 olan MAPE değeri %16.82'lik MAPE değeri ile karşılaştırıldığında daha düşük bir tahmin oranına sahiptir. Bu sonuçlara göre, bağımsız değişken sayısı ve tipinin değiştirilmesi ile daha iyi tahmin sonucu veren yapay sinir ağı modellerinin elde edilmesi mümkün olabilir.



Şekil 3. 3 farklı yapay sinir ağı ile elde edilmiş traktör satış tahminlerinin gerçek satış rakamları ile karşılaştırılması

Tablo 4. 2 Ara Katmanlı, 6:1 Nöronlu Test Sonuçları

Yıl	Ay	Gerçek Satış Rakamları	2 katman, 6:1 Tahmini Satış Rakamları		
			LOGSIG	PURELIN	TANSIG
2020	1	2800	6027	3790	4026
	2	3141	7271	5264	4975
	3	4220	6077	4023	3808
	4	2956	5741	1555	1613
	5	3860	4392	1769	1875
	6	5117	2798	2456	2652
	7	4596	4557	2444	2598
	8	4648	6090	2384	2845
	9	5396	5814	2222	2885
	10	5744	7168	2635	4617
	11	6038	7099	2122	4425
	12	6456	7302	2038	4932

Tablo 5. 3 Ara Katmanlı, 2:4:1 Nöronlu Test Sonuçları

Yıl	Ay	Gerçek Satış Rakamları	3 katman, 2:4:1 Tahmini Satış Rakamları		
			LOGSIG	PURELIN	TANSIG
2020	1	2800	2276	3879	3567
	2	3141	2435	5430	3051
	3	4220	2324	4304	2708
	4	2956	2217	1577	3574
	5	3860	2218	1882	3046
	6	5117	2313	2626	2935
	7	4596	4214	2410	2990
	8	4648	4215	2209	2920
	9	5396	4214	2092	2585
	10	5744	4146	2493	2500
	11	6038	2223	2093	2516
	12	6456	2219	2009	2570

Tablo 6. 3 Ara Katmanlı, 4:3:1 Nöronlu Test Sonuçları

Yıl	Ay	Gerçek Satış Rakamları	3 katman, 4:3:1 Tahmini Satış Rakamları		
			LOGSIG	PURELIN	TANSIG
2020	1	2800	4719	3866	2777
	2	3141	4719	5316	3028
	3	4220	4719	4262	3885
	4	2956	4719	-652	2345
	5	3860	4719	1754	2343
	6	5117	4719	3334	2355
	7	4596	4719	3643	2304
	8	4648	4719	3660	2206
	9	5396	4719	3230	2227
	10	5744	4719	3632	2451
	11	6038	4719	2737	2467
	12	6456	4719	2445	2665

Tablo 7. Yapay sinir ağı ile elde edilen verilerin RMSE ve MAPE değerlerinin kıyas tablosu

YAPAY SİNİR AĞI MODELLERİ	RMSE	MAPE
6:1 LOGSIG	0.32	44.9
6:1 PURELIN	0.41	50.2
6:1 TANSIG	0.27	38.0
2:4:1 LOGSIG	0.32	33.7
2:4:1PURELIN	0.42	51.0
2:4:1TANSIG	0.35	37.5
4:3:1 LOGSIG	0.18	25.3
4:3:1 PURELIN	0.36	46.3
4:3:1 TANSIG	0.37	38.6

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada tarımsal üretimde en büyük role sahip makine olan traktörün yapay sinir ağı ile satış tahmini modelleri geliştirilmiş ve LOGSIG transfer fonksiyonu ile elde edilen 3 katmanlı ve 1. ara katmanında 2, 2. ara katmanında ise 4 nöron bulunan yapay sinir ağında en iyi tahmin elde edilmiştir. Her ne kadar 3 ara katmanlı LOGSIG transfer fonksiyonuna sahip ve 1. ara katmanında 4, 2. ara katmanında 3 nöron bulunan yapay sinir ağı en iyi istatistiksel performansı gösterse de 2020 yılı için elde edilen traktör satış tahmin rakamlarının her ay eşit çıkması, bu ağı satış tahmininde kullanılmasına izin vermemektedir. Bu nedenle, yapay sinir ağı ile geliştirilen tahmin modellerinde istatistiksel analizlerin kullanılması her ne kadar yapay sinir ağının başarısını gösterse de bu analiz sonuçlarına her zaman güvenilmemesi gerektiği sonucunu ortaya koymuştur. Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan bağımsız değişkenlerin örnek sayısının artırılması, farklı bağımsız değişkenlerin yapay sinir ağına eklenmesi veya farklı yapay sinir ağı modellerinin kurulması, daha iyi traktör satış tahmin sayılarının elde edilmesini sağlayabilir. Fakat traktör satış tahmini, tarımın ekonomik, iklimsel, sosyopolitik ve benzeri pek çok faktöre bağlı olması sebebi ile çözülmesi zor olan bir problem özelliğini taşımaktadır.

#### Kaynakça

- Biondi, P., Monarca, D., Panaro, A. (1998). Simple Forecasting Models for Farm Tractor Demand in Italy, France and the United States. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71, 25-35.
- Civelek, Ç. (2016). Turkey's Demand for Agricultural Tractors. *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 3(1), 51-57.
- Efendigil, T., Önüt, S., Kahraman, C. (2009). A Decision Support System for Demand Forecasting with Artificial Neural Networks and Neuro-fuzzy Models: A Comparative Analysis. *Expert Systems with Applications*, 36, 6697-6707.
- Graupe, D. (2013). *Principles of Artificial Neural Networks 3rd Edition*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. ISBN: 978-981-4522-73-1.
- Gurjar, A. P., Patel, S. B. (2021). *Fundamental Categories of Artificial Neural Networks*. Applications of Artificial Neural Networks for Nonlinear Data. ISSN: 2327-0411.
- Karaatlı, M., Ömürbek, N., Helvacıoğlu, Ö. C., Tokgöz, G. (2012). Yapay Sinir Ağları ile Otomobil Satış Tahmini.

Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi, 8 (17), 87-100.

- Tideswell, C., Mules, T., Faulkner, B. (2001). An Integrative Approach to Tourism Forecasting: A Glance in the Rearview Mirror. *Journal of Travel Research*, 40, 162-171.
- Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası (2021). Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (tarım, orman ve balıkçılık). <https://evds2.tcmb.gov.tr/index.php?/evds/>. Son erişim tarihi: 20.08.2021.
- Türkiye İstatistik Kurumu (2021a). Ulaştırma İstatistikleri. <http://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=89&locale=tr> Son erişim tarihi: 20.08.2021
- Türkiye İstatistik Kurumu (2021b). Tarım Ürünleri Üretici Fiyat Endeksi. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadIstatistikselTablo?p=uDsTTTT6Lfifu3AXY4r1UOsD3KWWIsD00yOhmJ/wBUtINPVwj4hCU6Cmg59WvDe/A> Son erişim tarihi: 20.08.2021
- Unakıtan, G., Akdemir, B. (2007). Tractor Demand Projection in Turkey. *Biosystems Engineering*, 97, 19-25.
- Witt, S. F., Witt, C. A. (1992). *Modelling and Forecasting Demand in Tourism*. London: Academic Press, 195, ISBN-0-127-60740-4.
- Yavuz, S., Devenci, M. (2012). İstatistiksel Normalizasyon Tekniklerinin Yapay Sinir Ağı Performansına Etkisi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 40, 167-187.



# Kentsel Ulaşım Sınıflamasında Yayalaştırılmış Cadde ve Sokak Uygulamalarının Başarı Değerlendirilmesi: Kırklareli İli Lüleburgaz İlçesi Örneği

Oğuz Ateş<sup>1\*</sup>, Fürüzan Aslan<sup>2</sup>, Engin Kabataş<sup>3</sup>, Nehar Büyükbayraktar<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Kırklareli Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kırklareli, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5395-0355), [oguzates@klu.edu.tr](mailto:oguzates@klu.edu.tr)

<sup>2</sup> Kırklareli Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kırklareli, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7981-8777), [a.furuzan@klu.edu.tr](mailto:a.furuzan@klu.edu.tr)

<sup>3</sup> Kırklareli Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kırklareli, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3191-5866), [kabatasengin005@gmail.com](mailto:kabatasengin005@gmail.com)

<sup>4</sup> Kırklareli Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kırklareli, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6582-9221), [neharbykbyrkr@gmail.com](mailto:neharbykbyrkr@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 26 Eylül 2021 ve Kabul Tarihi 16 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1000961)

**ATIF/REFERENCE:** Ates, O., Aslan, F., Kabataş, E. & Büyükbayraktar, N. (2021). Kentsel Ulaşım Sınıflamasında Yayalaştırılmış Cadde ve Sokak Uygulamalarının Başarı Değerlendirilmesi: Kırklareli İli Lüleburgaz İlçesi Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 382-389.

## Öz

Yayalaştırma kavramı tanım olarak, kentsel yolların yalnız yürünebilen yerlere dönüştürülmesi veya yapılacak çeşitli düzenlemeler ile yürüyenlere daha geniş alanlar ayrılması olarak ifade edilmektedir. Başarılı bir yayalaştırılmış alanın kentte yaşayanlara sağladığı sosyal, psikolojik ve ekonomik pek çok faydası bulunmaktadır. Bu çalışmada Kırklareli İli Lüleburgaz ilçe merkezinde yer alan yayalaştırılmış sokakların başarı değerlendirilmesi yapılmıştır. Yayalaştırılmış bölge, erişim ve bağlantılar, arazi kullanımı ve fonksiyonel dağılım, mekânsal kalite, konfor, imaj ve peyzaj, kullanım zamanı, sosyal yaşam başlıkları altında değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda, özel tasarlanmış satış birimleri hariç tüm şartları karşıladığı görülmüştür. Aynı yöntemle değerlendirilen diğer yayalaştırılmış alanlarla karşılaştırmalar yapılmıştır. Son bölümde ise çalışma alanına ait görüş ve önerilere yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yayalaştırma, Başarı Değerlendirmesi, Lüleburgaz.

## Success Evaluation of Pedestrianized Streets and Street Applications in Urban Transportation Classification: The Case of Lüleburgaz / Kırklareli / Turkey

### Abstract

The term of pedestrianization is defined as the transformation of urban roads into places that can be walked alone or to separate larger areas for walkers with various arrangements to be made. A successful pedestrianized area has many social, psychological and economic benefits for city dwellers. In this study, the success assessment of the pedestrianized streets in Lüleburgaz district center of Kırklareli Province was made. Pedestrianized area has been evaluated under the headings, access and connections, land use and functional distribution, spatial quality, comfort, image and landscape, time of use, social life. As a result of the evaluation, it has been seen that it meets all the conditions except for specially designed sales units. Comparisons with other pedestrianized areas evaluated with the same method were made. In the last section, opinions and suggestions related to the field of study are included.

**Keywords:** Pedestrianization, Success Evaluation, Lüleburgaz.

\* Sorumlu Yazar: [oguzates@klu.edu.tr](mailto:oguzates@klu.edu.tr)



## 1. Giriş

Tarihi, insanlığın topluluk olamaya başladığı dönemlere kadar uzanan yollar, ulaştırma faaliyetlerinin sağlanmasına temel oluşturan kentsel fonksiyonlardan biri ve bir kenti tanımlayan önemli bir elemandır. Yol mekânının ilk örnekleri olan patikalar, insan hareketliliği, ilişkiler ve haberleşme gereksinimleri ile ortaya çıkmıştır. M.Ö. 3000 – 4000 yıllarında Mısır’da Nil Nehri boyunca yollar düzenlenmiş, bu yollarda iklimsel verilerden korunmaya yarayan elemanlar ve döşemeler yapılmıştır. Babil’de M.Ö. 600 yıllarında 60cm genişliğinde dar sokaklara yer verilmiş, Yunan uygarlıklarında ise yaya yolları özellikle eğimli alanlarda kullanılmıştır (Giritlioğlu, 1991; Gültiken, 2010).

Millet kentinde yaya yolu ve taşıt yolunda farklı döşemelerin kullanıldığı, yaya yollarının 1.65m ve taşıt yollarının 3.5m genişliğinde düzenlendiği görülmüştür. Roma’da ise “düz yol, en kısa yoldur” prensibi benimsenerek, dik ve diyagonal kesişen yollar yapılmıştır. M.Ö. 1000 yılında Pompei şehrinde ise yaya ve taşıt yolu ayrımı gözlemlenmektedir. İnsanlığın yerleşik hayata geçmesinden sonra basit bir hesapla 9600 yıl boyunca insanlar ulaşımını büyük ölçüde yürüyerek gerçekleştirdiği görülmektedir. Bu nedenle kentler, daha insan ölçeğinde gelişmeler göstermişlerdir (Vuchic, 1999).

Ortaçağ dönemlerine bakıldığında, ilk etapta oturma işlevinin uzantısı olarak düşünülen yollar, sonraki dönemlerde çalışma işlevlerini de kapsamıştır. Gelişen ticaret ile paralel olarak yollar da gelişmeye başlamış, Rönesans ve Barok dönemlerindeki farklı akımlarla, kent dokusu içerisinde farklı işlev fonksiyonlar gelişmiştir. 19. yy’ da kullanılan bisiklet ve tramvay, 20. yy’ a gelindiğinde yerini otomobillere bırakmaya başlamıştır. Otomobilin kullanılmasıyla yol sisteminin kentlerdeki değişimi başlamıştır (Gehl, Gemzøe, Kirknæs, ve Sternhagen Søndergaard, 2006).

İlk olarak cadde ve sokakların yaya alanlarına dönüştürülmesi 1926’da Almanya’nın Essen şehrindeki Limbecker Strase de gerçekleştirilmiştir. Tarihi kent merkezlerindeki dar alışveriş caddelerinden oluşan trafik sıkışıklıklarını önlemek amacıyla ortaya çıkan yayalaştırma, 2. Dünya savaşıdan sonra yaygınlaşmış, 1969 yılında sayısı 63’e ulaşmıştır. 1973 yılında ortaya çıkan petrol krizi ile yayalaştırma ve toplu taşıma uygulamalarına hız verilmiş, pek çok kentte uygulanmaya başlamıştır. Bu dönemde yapılan çalışmalar sosyal açıdan değerlendirilmiş ve çalışmalar bu yöne yoğunlaştırılmıştır. Bu dönemde Almanya Münih kentinde yapılan yayalaştırma çalışması buna en iyi örnektir ve bu çalışma sonrası Almanya’ya bir model oluşturulmuştur (Robertson, 1994).

Avrupa’da özellikle 1960’lı yıllardan sonra hızla artış gösteren otomobil sayısı, planıcıları yeni önlemler geliştirmeye yönlendirmiştir. 1960’lı yıllarda bile birçok Avrupa şehrinde trafik sıkışıklıkları gözlemlenmiştir. Bu problemle başa çıkabilmek için, otomobil kullanımının önüne geçen diğer ulaşım sistemlerine ağırlık verilmiştir. Bu sayede, trafiğe kapalı, yayalaştırılmış bölgeler büyük alanlara yayılmış ve ticari alanlara dönüşmüştür (Vuchic, 1999).

Günümüzde insanlar, kendinden önceki kuşaklara göre daha az yürümektedir. Buna neden olarak kişisel otomobillerin artması, tembelleşme veya yürümeyi konforsuz bulmaları gösterilebilir (Robertson, 1994).

Yayalar bir kentte yaşayanların büyük çoğunluğunu kapsayan ve toplumun her kesiminden insanları bünyesinde barındıran bir kitledir. Yayalar, içerisinde bebekler, çocuklar, hamileler, yaşlılar ve engelliler bulunan bir topluluktur. Yaya hareketleri yaya dış hareketleri, dinamik yaya hareketleri ve statik yaya hareketleri olarak 3 ana başlıkta incelenebilir (Rapaport, 1987).

Yayalaştırma kavramı tanım olarak, kentsel yolların yalnız yürünebilen yerlere dönüştürülmesi veya yapılacak çeşitli düzenlemeler ile yürüyene daha geniş alanlar ayrılması olarak ifade edilmektedir (Keleş, 2021).

Yayalaştırma kavramı incelenirken, sadece taşıta yasaklanmış yaya yolları algılanmamalı, yaya hareketleri ve aktivitelerinin dikkatlice gözlemlendiği, insani öğeleri ön plana çıkaran ve taşıtların kontrollü hareketinin sağlandığı bir sistem algılanmalıdır. Araç trafiğini tamamen ortadan kaldırmadan, hız azaltıcı tasarımlar oluşturularak, sınırlamalar getirerek ya da caydırıcı fiyat politikaları uygulayarak da yaya öncelikli bir sistem kurgulanabilir (Brambilla ve Longo, 1978).

Kent merkezlerinde her geçen gün artan nüfus yoğunluğu ve taşıt trafiği, yayalaştırma isteğini arttırmakta olsa da yayalaştırma nedenleri ülkeden ülkeye farklılaşmaktadır. Hızlı kentleşmeyi, değişen yaşam koşullarını, teknolojik gelişmeleri ve toplum yapısını birlikte düşündüğümüzde, toplumun, kent içinde trafik ve yapılar arasında kaldığı görülmektedir. Bu da yayalaştırılmış alanlara olan talebi arttırmakta ve tüm dünyada kent merkezlerinin trafikten arındırılıp yaya mekânlarına dönüşmesine neden olmaktadır. Yayalaştırma sebepleri incelendiğinde, tarihi binaların ve kent dokusunun korunması, ticaretin artırılması, konut alanlarının iyileştirilmesi, çevrenin güzelleştirilmesi ve sosyal hayatın canlandırılması ön plana çıkmaktadır (Moudon, 1987).

Tamamen yayalaştırılmış bir mekânın başarısının sağlanmasının en önemli kriterlerinden birisi, kullanıcıları çekebilecek aktivitelere yoğun olarak yer verilmesidir. Ayrıca yer seçiminde, ticaret alanlarına yakın olması, tarihi bir merkez barındırması, çevresinde üniversite benzeri yoğun kullanıcı sayısına sahip mekânların bulunması önemli etkenlerdir (Rubenstein, 1992).

Bu anlamda yayalaştırılmış alanların başarısının ölçülmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada Kırklareli İli Lüleburgaz ilçesinde yer alan yayalaştırılmış caddeler başarı ölçütleri kapsamında değerlendirilmiştir. Dünya’da ve ülkemizdeki diğer yayalaştırılmış caddelerle karşılaştırması yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmanın materyalini Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesi İstanbul caddesi, Stad caddesi, Fatih Caddesi, Şevket Özdül Caddesi, Turgutbey Caddesi, Orhan Özcanlar Sokak, Hal Sokak, Fındıklı Sokak, Açık Çeşme Sokak ve Fetfane sokağın içinde bulunduğu yayalaştırılmış bölge oluşturmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının konumu.

Yöntemin ilk bölümünde, literatür taraması yapılmıştır. Yayalaştırılmış alanların tarihsel süreci, yayalaştırma biçimleri ve dünyadaki uygulamalar incelenmiştir. İkinci aşamada ise çalışma alanına ait analizler yapılmış, Gültiken (2010) tarafından ortaya konan başarı ölçütleri açısından çalışma alanı incelenmiştir. Başarı ölçütleri ile incelenmiş diğer caddeler çalışma alanı bulguları ile karşılaştırılmış ve önerilerde bulunulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Yöntem Akış Şeması

Gültiken (2010) tarafından; günümüzde yayalaştırma uygulamalarının başarıya ulaşması için uyulması gereken ölçütler, son dönemde gelişen literatür sentezi sonucunda;

- Erişim ve Bağlantılar
- Arazi kullanımı ve Fonksiyonel Dağılım
- Mekânsal Kalite-Konfor-İmaj ve Peyzaj
- Kullanım Zamanı
- Sosyal Yaşam

olarak ortaya konulmuştur.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma alanı materyal ve metot bölümünde detayları verilen yönetime göre değerlendirilmiştir. Erişim ve bağlantılar,

arazi kullanımı ve fonksiyonel dağılım, mekânsal kalite - konfor - imaj ve peyzaj, kullanım zamanı ve sosyal yaşam olmak üzere 5 ana başlıkta açıklanacaktır.

### 3.1. Erişim & Bağlantılar

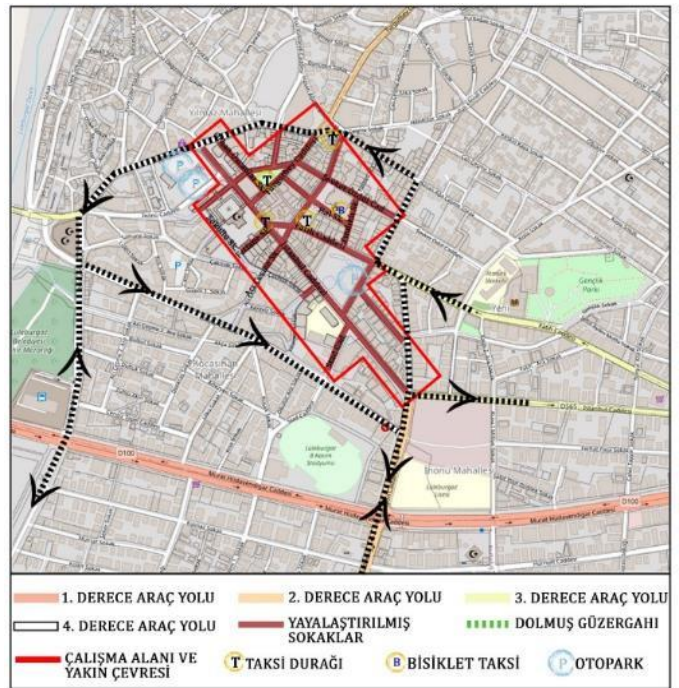
Özmen ve Kayacan (2021) kentsel çevreden kaynaklı stress faktörlerine, kalabalık, etrafa dağılmış çöpler, yüksek katlı yapılaşma, trafik, kazalar ve yeşilliklerin varlığı ve ulaşılabilirliği örnek olarak verilebilir demmiştir. Bu bağlamda kentsel mekânlarda yaşayanların stress düzeylerini azaltmak için de erişim ve bağlantılar başlığı önem arz etmektedir.

Lüleburgaz ilçesinin tarihi kent çekirdeğini oluşturan çalışma alanı ve yakın çevresi Murat Hüdavendigâr (D100), İstasyon, İstanbul, (D565), Fatih ve Turgutbey gibi önemli karayolları ile dolmuş güzergâhları arasında yer almaktadır.

Çalışma alanına erişim özel/ticari araçlar, dolmuşlar ve bisikletler aracılığıyla sağlanmaktadır. Yayalaştırılmış bu bölge üzerinde çok sayıda resmi kurum, banka ve ticari faaliyetler sürdürüldüğü için alana yakın bölgelerde trafik yoğunluğu oldukça fazladır. Ayrıca bu bölge çevresindeki yollar tek yön olarak planlanmış ve bu sayede bir nebze de olsa trafik yoğunluğunun önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Yayalaştırılmış bölgelerde trafik yoğunluğunun önüne geçmek, bu alanlarda özel araç kullanımını engellemek amacıyla; İstanbul, Fatih ve Turgutbey caddeleri ile Fetfane, Orhan Özcan, Şevket Ödül Acı Çeşme sokaklarının giriş/çıkış kısımlarında bariyer sistemleri kullanılmaktadır. Yayalaştırılmış bölge ve yakın çevresinde 3'ü açık, 1'i kapalı olmak üzere 4 otopark mevcuttur. Alan içerisinde 4 adet taksi ve 1 adet elektrikli taksi durağı yer almaktadır (Şekil 3).

Yine çalışma alanı içerisindeki alanlara erişim kolaydır. Karmaşıklık içermeyen bağlantılar ile ve evrensel tasarım ilkeleri doğrultusunda incelendiğinde, tüm bireylerin kamusal mekânlara erişilebilirliğinin mümkün olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda da pek çok gereksinimi sağlamaktadır.



Şekil 3. Erişim - Bağlantılar Analizi



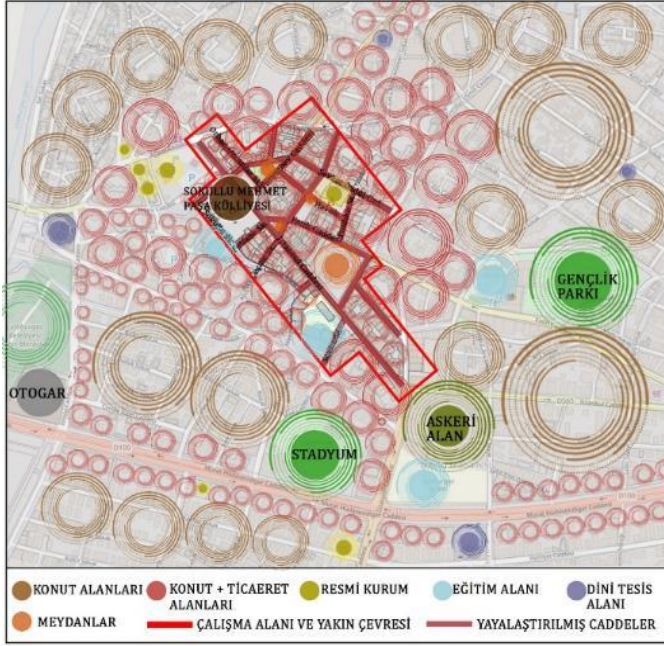
### 3.2. Arazi Kullanımı Dokusu & Fonksiyonel Dağılım

Lüleburgaz'daki yayalaştırma bölgesinde yayalaştırma öncesi, özellikle bu bölgede ticaret ile uğraşan işyeri sahipleri, insanların buralara erişimin zorlaşacağı nedeniyle yayalaştırmaya karşı çıkmışlardır. Fakat yayalaştırma çalışması sonrası özellikle perakende ticarete yaşanan artış ve sosyal çevredeki değişim herkesi memnun etmiştir.

Yayalaştırılmış bölge ve yakın çevresinde eğitim tesis alanları, resmi kurumlar, ticaret alanları ve tarihi Sokullu Mehmet Paşa Külliyesi yer almaktadır. Kent çekirdeğini yayalaştırma hedefiyle başlanan yayalaştırma çalışmasının yapıldığı bölgede ticari faaliyetler ön planda yer alıp, kentte yaşayan bireylerin gerek temel gerek sosyo-kültürel gerekse rekreasyonel tüm ihtiyaçlarını karşılayacak fonksiyonları barındırmaktadır.

İstanbul Caddesi ile Turgutbey Caddesi üzerinde yoğun olarak giyim, elektronik, telekomünikasyon, yeme-içme mekânları ve çeşitli ofisler yer alırken, Orhan Özcan sokakta yeme içme faaliyetleri, Şevket Ödül Cadde üzerinde giyim sektörü yoğunluk göstermektedir.

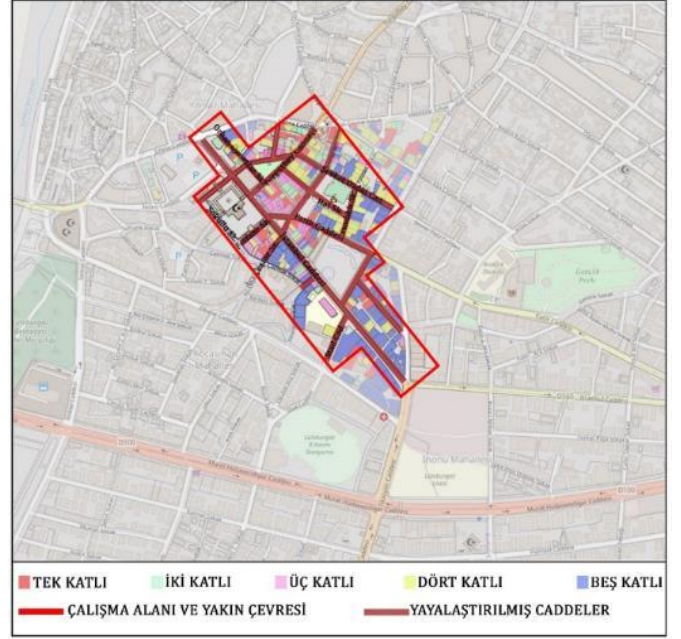
Ayrıca çalışma alanı içerisinde yer alan meydanlar kentlilerin buluşma noktaları olup bu alanlarda oturma dinlenme gibi çeşitli rekreasyon aktiviteleri ile sosyo-kültürel etkinlikler gerçekleştirilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Alan Kullanım Fonksiyonları.

Çalışma alanı üzerinde yer alan ve çoğunluğu ticari fonksiyona sahip binalar genel olarak İstanbul Caddesi üzerinde 3 ve 5 katlı, Turgutbey caddesinde 3 ve 4 katlı, Şevket Ödül Caddesinde 4 ve 5 katlı, Fatih Caddesinde 3 ve 5 katlı, Orhan Özcanlar sokak üzerinde 4 katlı binalar yoğunluk göstermektedir.

Yayalaştırılmış bölge üzerinde yer alan bu binaların zemin katları genelde yeme-içme, giyim, telekomünikasyon gibi amaçlara hizmet etmekte olup, üst katların daha çok ofis amaçlı kullanıldıkları tespit edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Kat Yüksekliği Analizi.

### 3.3. Mekânsal Kalite & Konfor & İmaj & Peyzaj

Gehl ve ark. (2006) yaptıkları araştırmada iki başlığa özellikle dikkat çekmişlerdir. Kent içerisindeki kamusal bir mekânın kullanıcılar tarafından tercih edilebilmesinde ilk olarak insan ölçeğinde, iklimsel ve estetik değerlere sahip olması ve ikinci olarak ise hem trafik hem de güvenlik olarak korunmuş olması oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Bu bağlamda çalışma alanına yönelik ilk etapta imaj analizi yapılmıştır.

Yayalaştırılmış bölge, her yaşta kullanıcının ihtiyacını karşılayacak nitelikleri barındırması, kişileri bir araya getirerek buluşma noktası görevi görmesi ve kişilerin bir araya gelerek çeşitli etkinlikleri gerçekleştirme imkânı sunması nedeniyle ilçenin gece-gündüz en hareketli ve kalabalık noktasıdır.

Konfor ölçütlerinden birisi olan güvenlik, kullanım zamanı ve kullanıcı yoğunluğunu etkilemese de öncelikli tehdit olduğu ortadadır. Mekânsal kullanımın çeşitliliği alanın daha ilgi çekici bir hal almasına önemli katkı sağlamıştır. Bu kapsamda güvenliği sağlamak ve kişilerin alanda kendilerini güvende hissedebilmesi amacıyla emniyet güçleri alanda sürekli devriye atmakta ve kongre meydanında polis ekibi nöbet tutmaktadır. Ayrıca alanın çeşitli yerlerinde mobese kameraları yer almaktadır. Bu anlamda bu mekânın tercih edilebilirliğinde suçun varlığının düşük olması önemli bir belirleyici olarak ön çıkmamaktadır.



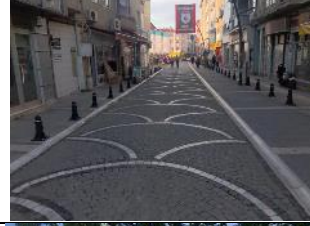
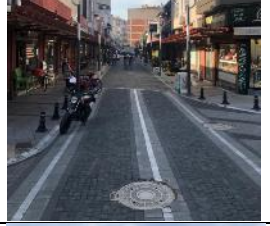



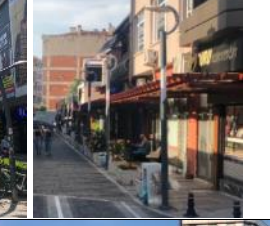


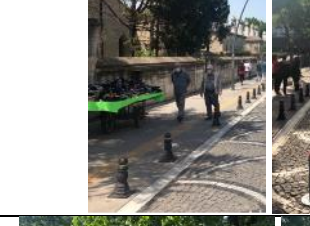
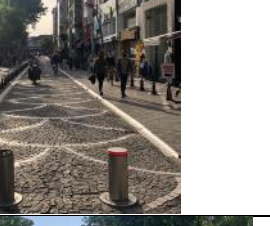


Ağaçlandırılmış caddeler ve gelişmiş büyük yol ağaçları alanda mikro klima etkisi yaratarak yayaların konforlu bir şekilde faaliyetlerini gerçekleştirmelerine olanak sunmaktadır. Ayrıca meydanlarda çeşitli amaçlarla su ögesinin kullanılması, ilgi çekici gece aydınlatmaları, modern oturma alanlarının ve ilgi çekici bitkisel tasarım çalışmalarının varlığı bu bölgelerin mekânsal kalitesini arttıran önemli özellikleridir.

Ancak kalite ve konfor açısından oturma banklarının halen yeterli olmadığı başarı değerlendirmesi açısından başarılı bulunmamaktadır. Cadde de çok az sayıda sanat objeleri kullanılmıştır. Caddenin tarihsel yapısı sanat objelerinin önüne geçmektedir. Bu nedenle tarihi binaların bakımı önemlidir. Tarihi

binaları zemin katlarında bulunan ticarethanelerin değişik renkteki tente ve tabelaları adeta bir karmaşa oluşturmaktadır.

Çalışma alanında üzerinde güvenlik ve ayakkabı boyacılarına yönelik tasarlanmış kabinler yer almasına rağmen, satış birimlerine yönelik donatılar yer almamaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalışma alanına ait doğal ve yapılı çevre peyzaj elemanları.

Doğal Peyzaj Elemanları	Bitkisel tasarım		
	Su		
Yapılı Çevre Peyzaj Elemanları	Zemin kaplamaları		
	Oturma birimleri		
	Aydınlatma elemanları		
	İşaret ve bilgi levhaları		
	Sınırlandırıcılar		
	Sanatsal objeler		



### 3.4. Kullanım Zamanı

Tarihi kent merkezi niteliği taşıyan bu alan sahip olduğu özellikleri nedeniyle gece-gündüz her yaştan kullanıcının dikkatini çekmektedir. Özellikle yayalaştırılmış bölge üzerinde yer alan yeme içme alanlarının varlığı sahip olduğu tarihi dokuyu ön plana çıkaran tasarım yaklaşımı ile birlikte yayaların geç saatlere kadar bu alanı kullanmalarına olanak tanımaktadır.

### 3.5. Sosyal Yaşam

Alan üzerinde yer alan meydanlarda çeşitli özel günlerde (23 Nisan, 19 Mayıs, Lüleburgaz'ın kurtuluşu) etkinlik ve konserler düzenlenmektedir. Ayrıca pandemi dönemi öncesi Zübeyde Hanım parkının bulunduğu bölgede geleneksel olarak




düzenlenen farklı temalar üzerine konuşmacıların getirildiği "Çınaraltı Sohbetleri" gerçekleştirilmiştir. Lüleburgaz'da açık havada yapılacak çeşitli sergi, kutlama ve etkinlikler bu alanlarda gerçekleştirilmektedir.

Yayalaştırılmış bölgede çok sayıda seyyar satıcı yer almaktadır. Satışı yapılan ürünlerin birçoğu yerel üreticilerin köylerinde üretmiş olduğu ürünlerden oluşmaktadır. Fakat alan üzerinde bu ürünlerin satışlarının yapılabileceği satış birimleri bulunmamaktadır.

### 3.6. Başarı Ölçütlerinin Değerlendirilmesi

Tüm analizlerin ardından Çizelge 2'de gösterildiği üzere başarı ölçütleri değerlendirilmiştir.

Çizelge 2. Çalışma Alanına Ait Başarı Ölçütleri

BAŞARI ÖLÇÜTLERİ	Erişim / bağlantılar	Erişimde kullanılan araç türü-Metro / otobüs vb.	+		
		Cadde üzerinde araç türü Tramvay/ bisiklet	+		
		Otoparklar kapalı / grup /yolüstü	+		
	Arazi kullanımı / fonksiyonel dağılım	Ticaret	+		
		Tarihi bina / tescilli bina	+		
		Konut	+		
		Yemek yeme / kahve	+		
		Kültür tesisi / müze vb.	+		
	Mekânsal kalite / konfor / imaj/ peyzaj	Projesinin olması / tasarım süreci	+		
		Kullanılan mobilyalar /oturma bankları/ çöp kutuları / heykeller	+		
Kent içinde bilinirliği		+			
Bitki materyali		+			
Kullanıcı çeşitliliği (kadın, erkek, yaşlı, genç)		+			
Kullanım zamanı	Turist / kültür turu düzenleniyor mu?	+			
	Kullanım zamanı (gece / gündüz)	+			
	Planlı – programlı etkinlik	+			
Sosyal yaşam	Özel tasarlanmış satış birimleri	-			
	Kent kültürel yaşama katkısı	+			

### 3.7. Çalışma Alanı ile Diğer Yayalaştırılmış Caddelerin Karşılaştırılması

Aynı yöntemin uygulandığı yayalaştırılmış caddeler ile Lüleburgaz ilçesi yayalaştırılmış caddeleri karşılaştırılmıştır. Gültekin (2010) tarafından hem yurtiçindeki hem yurtdışındaki incelenen örneklere çalışma alanı da eklenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda Lüleburgaz

yayalaştırma bölgesinin “Özel Satış Birimleri” başlığı dışındaki tüm şartları sağladığı görülmüştür. Yayalaştırma çalışmasının başarısını gösteren bu karşılaştırma ile çalışma alanına ait getirilebilecek öneriler de ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda çalışma alanının kullanıcılar tarafından yoğun kullanıma sebeplerinden birisinin bu olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 3. Aynı Yöntemle Yapılmış Diğer Yaya Mekanları ile Çalışma Alanının Karşılaştırılması (Gültiken, 2010'den değiştirilerek).

	Erişim - Bağlantılar			Arazi Kullanımı					Mekansal Kalite				Kullanım Zamanı			Sosyal Yaşam		
	Erişimde Kullanılan Araç Türü	Cadde Üzerinde Araç Türü	Otoparklar	Ticaret	Tarihi / Tescilli Yapı	Konut	Yemek / Kahve	Kültür Tesisi / Müze	Projesinin olması	Kullanılan Mobilyalar	Kent İçi Bilinirliği	Bitki Materyali	Kullanıcı Çeşitliliği	Turist / Kültür Turu	Kullanım Zamanı	Planlı – Programlı Etkinlik	Özel Satış Birimleri	Kent Kültürel Yaşamına Katkı
Stroget, Kopenhag, Danimarka	+	+	+	+	+	+	+	+	X	+	+	X	+	+	+	+	+	+
Strasbourg, Fransa	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	+	+	+	+	X	X
Münih, Almanya	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	X	+
Woonerf, Hollanda	+	+	+	+	X	+	+	X	+	X	+	X	+	+	+	+	+	+
Piazza Del Cambo, Siena, İtalya	+	-	X	+	+	-	X	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Asahikawa, Japonya	+	X	+	+	-	X	+	X	+	X	+	X	+	-	+	+	+	+
Santa Monica Place, ABD	+	-	+	+	-	-	+	-	+	X	+	-	+	X	+	+	+	+
Minesota, Mineapolis, ABD	+	-	+	+	-	-	+	-	+	X	+	-	+	X	+	+	+	+
New York, ABD	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	X	+	X	+	X	+	+
La Rambla, İspanya	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	+	+	+	+	+	+
İstiklal Caddesi, Türkiye	+	+	+	+	+	X	+	+	+	X	+	X	+	+	+	+	+	+
Lüleburgaz, Türkiye	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+

## 4. Sonuç

Tüm dünyada yaya alanlarının sayısı her geçen gün artsa da yayalaştırma sebepleri ülkeden ülkeye değişmektedir. Yayalaştırmanın amaçları arasında çevreyi koruma, konut çevresi ve yaya ilişkilerini güçlendirme, boş zamanları değerlendirme, toplumsal ve ekonomik amaçlar bulunmaktadır. Lüleburgaz ilçesinde bulunan çalışma alanımızın tüm bu amaçları karşıladığı görülmektedir.

Tüm Dünyada olduğu gibi Lüleburgaz ilçesinde de gündün güne artan taşıt trafiği sonucu yaya kaldırımları yetmemekte, özellikle kent merkezinde trafik sıkışıklığı meydana gelmektedir. Bu bağlamda kent merkezinin yayalaştırılması, yaya trafiğini rahatlatmış, kent merkezindeki trafik sıkışıklığını azaltmış, ticaret alanlarının satış miktarını arttırmıştır.

Yayalaştırma çalışması başarı ölçütleri bakımından irdelendiğinde ise sadece “Özel Tasarım Satış Birimleri” başlığı altında yetersiz olduğu görülmektedir. Çalışma alanı genelinde çok sayıda seyyar satıcı bulunmasına ve bu satıcıların pek çoğunun yöresel, el yapımı ürünler satmasına rağmen, bu satışların daha düzenli yapılabileceği bir satış alanı

bulunmamaktadır. Çalışma alanında yapılacak düzenli ve yere özgü satış birimleri ile, hem düzensiz satışın önüne geçilmiş hem de kentsel kimlik vurgulanmış olacaktır. Bu sayede de yayalaştırma çalışmasının başarı ölçütleri de tamamlanacaktır.

Dünyadaki farklı yayalaştırılmış mekanlar bu çalışmada kullanılan yöntemle değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme ile çalışma alanına uygulanan değerlendirme Çizelge 3’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda Lüleburgaz kent merkezinde yapılan yayalaştırma çalışmasının etkili bir çalışma olduğu ortadadır. Eğer bu çalışma genelinde bahsedilen eksikler de tamamlanırsa dünya çapında iyi örneklerden biri olması kaçınılmazdır.

## Kaynakça

- Brambilla, R. and Longo, G. (1978). For Pedestrians Only: Planning, Design and Management of Traffic-free Zones, Architect. P; New edition, 208p.
- Gehl, J., Gemzøe, L., Kirknæs, S. and Sternhagen Søndergaard, B. (2006). New City Life. Arkitektens Forlag - The Danish Architectural Press, 179p.

- Giritlioğlu, C. (1991). Őehirsel Mekan Ögeleri ve Tasarımı. İ.T.Ü. Mimarlık Fak. Baskı Atölyesi, İstanbul, 179s.
- Gültiken, T. (2010). Yayalaştırılmış Sokakların Kentsel Mekanda Başarısının Değerlendirilmesi İstanbul – Beyoğlu / İstiklal Caddesi Örneği. Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129s, İstanbul.
- Keleş, R. (2021). Kentbilim Terimleri Sözlüğü 3. Basım, İmge Kitabevi Yayınları, 224s.
- Moudon, A. V. (1987). Public Streets for Public Use 1st edition, Van Nostrand Reinhold, 351p.
- Özmen, E. & Kayacan, T. (2021). Kentsel Dönüşüm ve Kentsel Stres Kavramlarının Olası İlişkileri. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (25), 657-664.
- Rapoport, A. (1987). Pedestrian Street Use: Culture and Perception. Ss 70-83. Moudon, A. V., ed., 1987. Public Streets for Public Use, VNR Company Inc. New York, 351p.
- Robertson, K. A. (1994). Pedestrian Malls and Skywalks: Traffic Separation Strategies in American Downtowns. Avebury; First Edition. 156p.
- Rubenstein, H. M. (1992). Pedestrian Malls, Streetscapes, and Urban Spaces, Wiley, 288p.
- Vuchic, V. R. (1999). Transportation for Livable Cities. Routledge, England, 378p.



# Endüstriyel Atık Geri Dönüşümünde Etkili Olan Karar Kriterlerinin BWM ile Değerlendirilmesi: Plastik, Cam ve Çelik Endüstrisinde Uygulama

Damla Çevik Aka<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Sakarya Üniversitesi, İşletme Enstitüsü, Üretim Yönetimi ve Pazarlama Anabilim Dalı, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9622-273X),  
[damlacevik@sakarya.edu.tr](mailto:damlacevik@sakarya.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 29 Eylül 2021 ve Kabul Tarihi 12 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1001853)

**ATIF/REFERENCE:** Çevik Aka, D. (2021). Endüstriyel Atık Geri Dönüşümünde Etkili Olan Karar Kriterlerinin BWM ile Değerlendirilmesi: Plastic, Cam ve Çelik Endüstrisinde Uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 390-398.

## Öz

Tüm dünyada üretim ve tüketime bağlı olarak birçok endüstride ortaya çıkan çevresel, sosyal ve ekonomik problemler ve endüstriler tarafından değişen beklentiler, firmaları sürdürülebilir iş uygulamalarına itmektedir. Çalışmada, firmaların dış kaynak kullanımı ile geri dönüşüm faaliyetlerini üretim süreçlerine dahil etme kararı vermesinde etkili olan kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca kriterlerin ağırlıkları plastik, cam ve çelik olmak üzere üç farklı sektör için ayrı olarak hesaplanarak, sektörel farklılıkların ve benzerliklerin ortaya koyulması istenmektedir. Mevcut literatürde aynı amaca ulaşacak farklı sektörlerdeki uygulamalara yer verilmemiş olması, araştırmanın özgün değerini ortaya koymaktadır. Çalışmada literatür taraması ve uzman görüşleri sonrasında ilgili kriterler: alternatif getiri, maliyet avantajı, istihdam, müşteri memnuniyeti, su tüketimi, enerji tüketimi ve sera gazı olarak belirlenmiş ve bu yedi kriterin ağırlıklandırmasında her sektörden ayrı ayrı altı kişi olacak şekilde toplamda 18 kişiyle çalışılmıştır. Problem çözümünde birden fazla kriterin olması ve her kritere çalışmayla tutarlı olacak şekilde ağırlık verilme ihtiyacı sebebiyle “En İyi En Kötü Yöntem (Best Worst Method)” kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilirlik, Geri Dönüşüm, Kaynak Geri Kazanım, Çok Kriterli Karar Verme, En İyi En Kötü Yöntem.

## Evaluation of Effective Decision Criteria in Industrial Waste Recycling with BWM: An Application in the Plastic, Glass and Steel Industries

### Abstract

Environmental, social and economic problems arising in many industries due to production and consumption all over the world and changing expectations by industries encourage companies to sustainable business practices. In the study, it's aimed to determine the importance levels of the criteria that are effective in the decision of including the recycling activities to the production processes together with the outsourcing of the companies. In addition, the weights of the criteria for three different sectors, plastic, glass and steel, are calculated separately, and sectoral differences and similarities are required to be revealed. The fact that applications in different sectors that will achieve the same goal are not included in the existing literature reveals the original value of the research. In the study, after the literature review and expert opinions, the relevant criteria were determined as: alternative return, cost advantage, employment, customer satisfaction, water consumption, energy consumption and greenhouse gas, and six experts from each sector were evaluated separately in the weighting of these seven criteria. “Best Worst Method” was used in problem solving because of the need to have more than one criterion and to give weight to each criterion in a way that is consistent with the study.

**Keywords:** Sustainability, Recycling, Resource Recovery, Multi-Criteria Decision Making, Best Worst Method.

\* Sorumlu Yazar: [damlacevik@sakarya.edu.tr](mailto:damlacevik@sakarya.edu.tr)



## 1. Giriş

İnsanların doğaya, doğada bulunan kaynaklara, üretim süreçlerine veya tüketime karşı bilinçsizce hareket etmesi beraberinde birçok problemin doğmasına neden olmuştur. Üretim girdi kaynaklarının gereksiz tüketimi ve istenmeyen çıktılarının fazla üretim durumları endüstriyel sistemleri ekolojik olarak sürdürülemez hale getirmektedir (Gatimbu vd., 2018). Biyoçeşitlilik kaybı, yerel hava, su ve toprak kirliliği, doğal kaynakların azalması, kaynakların tükenmeye başlaması ve aşırı alan kullanımı gibi çevresel sorunlar, dünyanın yaşam sistemlerini tehdit etmeye başlamıştır. Çevresel açıdan büyüyen problemler ile beraber sosyal açıdan da yaşanan sıkıntılar toplumların endişelerini arttırmaktadır. İşsizlik oranlarının yükselmesi, çalışma koşullarındaki dengesizlik, çalışma yerlerinin her geçen gün kötüleşmesi ve toplumun belirli tabakalarında artan eşitsizlik önemli konulardan olmuştur. Çevresel ve sosyal etkilerin yanı sıra ekonomik durumlar da firmaları her geçen gün sürdürülebilir olmaya itmektedir. Karşılaşılan tedarik zinciri problemleri, kuralsızlaşan piyasalar ve adil olmayan rekabetler firmalarda finansal istikrarsızlığa neden olmaktadır. Yaşanan bu durumlar tüm dünyanın büyük bir farkındalık sürecine girmesinde etkili olmuş ve kurumların sürdürülebilir olmak için önemli adımlar atmasını sağlamıştır.

Sürdürülebilirlik kavramı, birçok farklı disiplin içinde kullanılması sebebiyle farklı tanımlarda ifade edilen bir kavram olmuştur. Sürdürülebilirlik, kaynakların yok olması, enerji maliyetlerinde yaşanan dalgalanmalar, çevresel kirlilik ve atıklardan doğan çevresel riskleri azaltma ihtiyacıyla ortaya çıkan (Shrivastava, 1995) bir çabadır. McMichael vd. (2003) tarafından kavram, değiştirilemez mal ve hizmetlerin arzını devam ettirerek, güvenlik, refah ve sağlık konularını optimize etmeyi amaçlayan bir dönüşüm olarak tanımlanmıştır. Sürdürülebilirlik, enerji tüketiminin en aza indirilmesine ve atıkların verimli kullanılmasına teşvik eden organizasyonel uygulamalar bütünü olarak da ifade edilebilmektedir (Eltayeb & Zailani, 2010). Kısaca sürdürülebilirlik kavramı, çevresel, ekonomik ve sosyal olmak üzere üç farklı boyut üzerinden incelenmektedir. 1990'lı yılların sonlarında, iyi bir ekonomist olan J. Elkington tarafından üçlü alt çizgi (TBL) kavramı geliştirilmiş ve bu üç boyutun en azından temel seviyeye ulaşmadan boyutların ayrı olarak istenen seviyeye getirilemeyeceğini ifade etmiştir. TBL olgusu, ekonomik boyutlara sosyal ve çevresel boyutların dahil edildiği başarılı bir performans ölçme aracı olarak görülmektedir. Sürdürülebilirliğin üç boyutunun eş zamanlı değerlendirilmesi önemlidir. Sürdürülebilir uygulamalardaki birçok belirsizliğe rağmen, esas bileşenleri tanımlamak, bileşenler arası ilişkileri ortaya koymak, sistemi bütünsel olarak değerlendirmek gereklidir (Harris, 2000).

Bu çalışmada da firmaların, sürdürülebilir uygulama alanlarından olan geri dönüşüm faaliyet kararlarını vermelerinde etkili olan hem ekonomik hem çevresel hem de sosyal boyutların önce belirlenmesi, ardından ağırlıklandırılması amaçlanmaktadır. Farklı endüstri kollarında sonuçların değişeceği beklentisiyle, üç farklı sektörden uzmanla görüşmeler yapılarak verilen kararda belirleyici olan sürdürülebilirliğin üç boyutunun etkisi de ortaya koyulacaktır.

## 2. Kavramsal Çerçeve

### 2.1. Sürdürülebilirlik Boyutları

Firmaların sosyal açıdan sorumluluk sahibi olması, ekonomik açıdan rekabet edebilmesi ve çevresel açıdan ekosistemi koruyacak şekilde davranması sürdürülebilir bir dünya için önemlidir. Sürdürülebilirliğin üç boyutundan biri olan çevresel boyutun yeri ayrıca önemlidir. İşletmelerin üretim sistemlerindeki her aşamalı süreçlerinin çevreye verdiği zararı minimum seviyeye dönüştürmesi ve firma stratejilerine çevresel bileşenleri dahil etmesi gerekmektedir (Yacob vd.,2019). Çevresel sürdürülebilirlik, çevre ve insan ilişkilerinde ekolojinin en doğal şekliyle korunmasını sağlayarak, çevreye verilen zararların onarılmasını sağlayan faaliyetler bütünüdür (Goodland, 1995). Çevresel sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin ekonomik, sosyal ve çevresel ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde ekoloji ile uyumlu koşulların yaratılması ve sürdürülmesidir (U.S Department of Energy, 2020). Bir başka açıdan kavram, ekosistemlere zarar vermeyecek şekilde insan ihtiyaçlarının karşılanması için benimsenen yaklaşımdır.

Çevresel sürdürülebilirlik stratejilerinin temelinde, kıt kaynaklar ile hem günümüz neslinin hem de gelecek neslin ihtiyaçlarının karşılanarak bu kaynakların devamlılığının sağlanması yer almaktadır. Bu sebeple doğal kaynakların tüketilme hızının yenilenme hızından küçük olması istenmektedir (Küçük & Güneş, 2013). Beklenen amacı gerçekleştirecek birçok farklı çevresel uygulamalar ve politikalar geliştirilmektedir. Erol & Özmen (2008) tarafından yapılan bir çalışmada çevresel sürdürülebilirliği geliştirecek uygulamaların sonucunda su kullanımı, enerji tüketimi, yakıt tüketimi, atık üretimi, geri dönüşüm işlemleri, çevresel kirlilik, gürültü ve arazi kullanım konularından avantaj elde edilebileceği vurgulanmaktadır. Çevre stratejilerden birçoğu da atmosferdeki ısı dengeyi sağlayan sera gazı salınımları ile ilgilidir. Enerji tüketiminin, bilinçsiz kaynak kullanımının, yanlış üretim teknolojilerinin, ulaşım kaynaklarının gereksiz kullanımların sonucunda topluma ve çevreye zarar veren miktarlarda gaz salınımı olmaktadır.

Literatür incelemesine bakıldığında çevresel sürdürülebilirlik boyutları farklı araştırmacılar tarafından farklı açılardan ele alınmıştır. Rao (2002) katı atıklar, su tüketim miktarları, hava emisyon yayılımı üzerinden; Szekely & Knirsch (2005) emisyon miktarı ve enerji tüketimi üzerinden; Vachon & Klassen (2008) katı atık miktarı, su tüketim oranları ve gaz emisyonu açısından; Glavas & Mish (2015) enerji tüketim miktarı, tehlikeli madde kullanımı ve atık yönetimi açısından konuyu değerlendirmişlerdir. Son yıllardaki çalışmalarda temel boyutlar da eko tasarım, yeşil paketleme, temiz üretim ve iş birliği düzeyi (kaynak kurtarma) (Ni & Sun, 2019); gaz emisyonu, ürün geri dönüşüm oranı, katı atık önleme, zararlı madde tüketimi, çevre kazaları ve çevresel girişimler (Dubey vd., 2020); ürün geri dönüşüm oranı, kaynak geri kazanım ve bertaraf oranı (Chaudhary & Vrat, 2020); emisyon miktarı, enerji tüketimi ve atık miktarı (Spallini vd., 2021); emisyon miktarı, yeşil paketleme ve yeşil lojistik üzerine gerçekleştirilmektedir (Haryanti & Subriadi, 2021).

Ekonomik sürdürülebilirlik ise organizasyonların karlılık gibi finansal durumlarına öncelik vererek ekonomik performanslarını geliştirme ve pazardaki sahip oldukları konumu koruma veya geliştirme amacıyla yürüttüğü stratejilerdir (Kurnaz & Kestane, 2016). Ekonomik sürdürülebilirliğin amacı kurumların çevresel etkileri ile ekonomik durumu arasındaki

dengeyi sağlamaktır. Çevresel sürdürülebilirlik ile eş zamanlı yapılan ekonomik sürdürülebilirlik stratejilerinin uzun dönemde organizasyonlara fayda sağlaması beklenmektedir. Ekonomik sürdürülebilirliği sağlayan işletmeler, garanti nakit akışları ve kârlılığı olan işletmeler olarak görülmektedir. (Njoroge vd., 2019). Elliott (2005), ekonomik açıdan sürdürülebilir olmak için uzun dönemde istikrarlı bir ekonomiye sahip olmak gerektiğini ifade etmiş ve ayrıca toplam sermayenin azalmaması ve kıt kaynaklardan maksimum faydanın sağlanmasını, ekonomik sürdürülebilirliği arttıran eylemlerden görmüştür.

Literatürde farklı boyutlar üzerinden incelenen ekonomik sürdürülebilirlik boyutunu Tsai & Hung (2009) atıkların bertaraf maliyeti ve yeniden işlem maliyeti, Ameer & Othman (2012) aktif getiri, vergilendirme öncesi kar ve nakit akışı; Santos vd. (2013). öz kaynak verimliliği; Tajbakhsh & Hassini (2015) firma imajı, kar, yatırım oranı ve yeni müşteri elde etme oranı üzerinden incelemiştir. Ayrıca Hu vd. (2019) ekonomik sürdürülebilirliği hurda malzeme satış miktarları, sermaye fazlası ekipman satışı, geri dönüşüm sistem yatırımları ve stok fiyatları; Dubey vd. (2020) satın alma maliyetleri, enerji maliyeti, atık maliyetleri, geri kazanım maliyetleri ve vergi; Abdelaziz vd. (2020) ciro, büyüme oranı, kaynak kullanımı ve talep; Haryanti & Subriadi (2021) ekonomik büyüme, satış miktarı (karlılık), vergi ve verimlilik; Spallini vd. (2021) risk yönetimi, ekonomik değer (karlılık) ve tedarikçilere yapılan harcama (yatırım) boyutları üzerinden değerlendirmiştir.

Sürdürülebilirliğin üçüncü boyutu olan sosyal sürdürülebilirliğin odağında insan vardır. Sosyal sürdürülebilirlik, insanların yaşadığı ve çalıştığı yerlerde duyduğu ihtiyaçları tespit ederek bu doğrultuda refahı teşvik eden başarılı ortamlar yaratma sürecidir (Woodcraft, 2015). Sosyal sürdürülebilirlik, insanların temel ihtiyaçlarının yanı sıra sağlık, eğitim, ulaşım, siyaset, adalet gibi konularda da duyduğu ihtiyaçları karşılamaya yönelmektedir. Morelli (2011) sosyal sürdürülebilirliği, eşitlik, yerel düzeyde siyasi haklar, toplum olabilme durumu, farklı değerlerdeki insanlar arası ilişkiler, sosyal haklara yönelik bilinç, insan ihtiyaçlarının karşılanabilme durumları üzerinden anlatmıştır. Kavram, toplumun herhangi bir kesimini ayırmadan toplum bütünlüğünü sağlama amacıyla ortak hedeflere ulaşabilmesini sağlamaktadır. Sosyal sürdürülebilirlik olgusu içinde önemli olan insanların 'eşit haklara' sahip olması gerekliliğidir. Bu sayede toplumda sosyal yönden dengeli bir ortamın yaratılabilmektedir.

Sosyal sürdürülebilirlik uygulamaları literatürde farklı açılardan değerlendirilmektedir. Sosyal sürdürülebilirliği Singh vd., (2007) çalışan sağlığı ve kaza oranları, Hubbard (2009) topluma ayrılan yatırım miktarları, Ahi & Searcy (2015) müşteri memnuniyeti, gönüllülük ve paydaşların katılımı; Lenort vd., (2017) çalışan devir hızı, sağlık ve güvenlik, eğitim; Govindan vd. (2019) insan kaynakları faaliyetleri, paydaş katılımı, sağlık, eğitim, eşitlik ve iş olanakları; Dubey vd. (2020) cinsiyet eşitliği, çocuk çalışan sayısı, fakirlik oranı, organizasyon tarafından verilen yemek içeriği, sunulan güvenli içme tesisi, sağlık hizmeti, konut desteği ve ulaşım olanakları; Spallini vd. (2021) istihdam, eğitim, eşitlik, müşteri gizliliği ve müşteri memnuniyeti; Haryanti & Subriadi (2021) ise müşteri memnuniyeti, istihdam ve yönetime bağlılık boyutları üzerinden değerlendirmiştir.

## 2.2. Geri Dönüşüm Sistemi

Firmaların sürdürülebilir stratejilere olan yaklaşım konularından biri de atık yönetim üzerine gerçekleşmektedir. Atık üretimi farklı içeriklerde veya özelliklerde olmasına rağmen tüm dünyanın kritik problemlerden biri haline gelmiştir. Atık miktarının tüm dünyada gelecek 25 yıl içinde 3.5 milyar ton olması beklenmektedir (Kaza vd., 2018). Çevreye olan zararı minimum seviyeye düşürmek ve çevresel açıdan sürdürülebilir olmak için işletmeler tarafından uygulanan faaliyetlerden biri de atıkları geri dönüştürmektir. Geri dönüşüm sistemi, atık malzemelerin finansal, çevresel ve toplumsal kaynaklara dönüştürülmesidir (US Environmental Protection Agency, 2012). Özellikle büyük endüstrilerde üretime bağlı olarak üretilen atıkların başarılı yönetimi çevresel katkı sağlamanın yanında firmaya ekonomik açıdan da fayda yaratan bir durumdur. Ayrıca çevreyi korumaya yönelik atık yönetim uygulamalarının toplum üzerine faydası da büyüktür. Doğru yönetilmeyen katı atık yönetim sistemleri su-hava kirliliği, bu bölgelerde sinek vs. gibi hayvanlardaki artış, sera gazı yayılımları, hava kirliliğinden doğan sorunlar, atıkların sebep olduğu yangınlar ve atık alanlarındaki erozyon gibi olaylara sebep olmaktadır (Theisen, 2000).

İşletmeler geri dönüşüm sistemleri ile atık bertarafı, kaynakların korunması, depolama alanlarının ömrü, işletme maliyetleri gibi konularda avantaj sağlamaktadır (Moh & Manaf, 2014). Atık ürün gruplarının tekrar geri kazandırılması ile firmalar hammadde, malzeme gibi maliyetlerde tasarruf elde ederken ekonomik açıdan faydalı durum ortaya çıkmaktadır. Geri dönüşüm işlemlerinin çevreye sağladığı faydalardan biri sera gazı salınımları üzerinedir. Atmosferdeki ısı dengesi düzenleyen sera gazları, üretim-tüketim artışına, atıkların kontrolsüzce yakılmasına, enerji tüketimlerine, tarım faaliyetlerine bağlı olarak kontrolsüz bir şekilde artmaya başlamış ve toplum sağlığını da olumsuz etkilemektedir. Kontrollü yapılan geri dönüşüm işlemlerinin atıkların yakılmasına (imhasına) nazaran sera gazı salınımını sınırladığı ifade edilebilir. Diğer bir açıdan kaynak geri kazanım faaliyetleri aynı malzeme gruplarını birincil üretimle üretmekle karşılaştırıldığında enerji, yakıt, su miktarlarında da avantajlı olduğu bilinmektedir. Bu avantajlar firmaları sürdürülebilirliğe yaklaştırması açısından geri dönüşüm işlemlerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Geri dönüşüm işlemlerinin yer aldığı atık yönetimi, farklı endüstriler veya farklı ürün grupları içinde çeşitlilik gösterebilmektedir. Geri dönüşüm işlemlerinde önemli olan ürün gruplarından biri plastiklerdir. Plastik atıklardaki artış, özellikle son yıllarda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde tedirginlik yaratmaktadır. Sürdürülebilir plastik endüstrisi için plastiklerin geri kazanımı birincil adım olarak görülmektedir (Hopewell vd., 2009). Birçok teknolojinin gelişmesi ile beraber plastik atıkların geri dönüşümü ve geri kazanımı sürdürülebilirliğin gelişmesinde etkili olmuştur. Plastik geri dönüşümü ile beraber saf plastiğin üretilmesinin yerine üretim maliyetlerinde azalma, depolama ve atık yönetim maliyetlerinde avantaj elde etme, enerji ve doğal kaynakları koruma, işsiz ve yoksullar için istihdam sağlama alanlarında katkı sağlamaktadır (Gregory & Kirchain, 2008). Wang vd., (2016)'nin çalışmasında da plastiklerin geri dönüşüm süreçleri sonucunda enerji, malzeme, maliyet ve zaman açısından tasarruf elde edileceğine yer verilmiştir. Plastiklerin tekrar malzeme olarak geri kazanılması, doğal kaynakların aşırı

kullanımını azaltarak özellikle çevresel ve ekonomik açıdan büyük katkı sağlamaktadır.

Geri dönüşümde değerlendirilen ürün gruplarından bir diğeri camlardır. Camların biyolojik olarak parçalanamaması sebebiyle atık alanlarında çevre dostu bir çözüm sunmamaktadır (Meyer vd., 1996) bu sebeple cam ürünlerin geri kazanımı önemlidir. Cam atıklar, içeriğinde bulunan silisyum sayesinde geri dönüşümü kolay malzemelerdir. Birçok cam çeşidinin %90 oranlarında geri dönüştürüldüğü kabul edilmektedir. Bazı kaynaklarda ise camın asla kalite kaybına uğramadığını bu sebeple tamamının geri dönüştürülebilir olacağına yer verilmektedir (Sudharsan vd., 2018) ve bu özellik cam geri dönüşümünü cazip hale getirmektedir. Cam geri dönüşümünde bu malzemelerin birçok kez tekrar tekrar kullanılabilmesi sürdürülebilirliğe olumlu etki yapan en temel özelliktir. Ayrıca geri dönüşüm faaliyetlerinde %90-100 oranlarının yakalanması kaynak geri kazanımıyla beraber firmaların hammadde, tedarik, üretim maliyetlerinde de büyük faydalar sağlamaktadır. Cam geri dönüşümünde kullanılacak cam parçalarının hammaddesine göre daha düşük bir erime noktasına sahip olması (Alba Ingenieros, 2012), enerji tasarrufunda büyük avantaj sağlamaktadır (Larsen vd., 2009).

Bir diğer ürün grubu metal içerikli ürünlerdir. Metal atıkların birçoğu endüstriyel atık sınıfına girerek, alüminyum, bakır, çelik içeriğindeki ürünlere geri dönüşümde sıkça rastlanmaktadır. Plastik gibi malzemelerden farklı olarak kimyasal veya fiziksel formlarına bakılmadan metaller, bazı durumlarda ekonomik olmasa da sahip olduğu özelliklerin birçoğunu geri kazanabilir. Özellikle çeliklerin dünyada en çok kullanılan metal olması sebebiyle geri dönüştürülmeye duyulan ihtiyacı çok büyüktür. Nitekim çelikler, dünyada en fazla geri dönüştürülen malzemelerdir ve birçok çelik için kullanım ömürlerinin sonunda yüzde 100 geri dönüştürülebileceği kabul edilmektedir (World Steel Association, 2020). 2018 yılında EPA tarafından araştırmada çelik endüstrisinin her yıl yaklaşık 12 milyon üründen geri dönüşüm yapıldığını ortaya çıkarmıştır (EPA, 2018). Çelik geri kazanım faaliyetleri hem ekonomik hem çevresel sürdürülebilirlik açısından avantajlıdır (Holappa, 2020). Çeliğin üstün sürdürülebilirlik performansı, yaşam ömrü boyunca çevreye vereceği zararı minimum seviyeye düşürebilmektedir. Çelik geri dönüşümünde ayrıca çeliklerin kalitesinde herhangi bir bozulmanın olmadığı bilinmektedir. Worldsteel (2020) tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada, bir arabada bulunan tüm çelik malzemelerin geri dönüştürülmesi sonucunda, 300 galondan fazla benzin tüketmeye eşdeğer sera gazı emisyonlarının azalabileceği bilgisine ulaşılmıştır. Bir başka çalışmada ise enerji tasarrufuna vurgu yapılmış ve çelik bir gıda tenekesinin geri dönüştürülmesiyle 60 watt'lık bir ampulün dört saatten fazla yanması için gereken enerji kadar tasarruf yapıldığı görülmüştür (EPA, 2018).

Farklı endüstriler, farklı ürün grupları için geri dönüşüm faaliyetleri yapılsa da, temelinde her bir faaliyet alanı sürdürülebilirliğe giden yolda işletmelere aynı amaçlarda destek sağlamaktadır. Böylesine büyük etkilere sahip olan geri dönüşüm faaliyetleri, işletmeler için birer fırsat olarak görülmeye başlanmıştır. Ancak bu tesislerin kurulmasının büyük yatırımlar gerektirmesi sebebiyle firmalar atık olarak ayırdığı ürünlerin geri dönüşümünde dış kaynak kullanımına ihtiyaç duymaktadır. Fakat firmaların çeşitli sebeplerden endüstriyel atık (tehlikesiz) olarak ayırdığı ürünleri dış kaynak kullanarak geri dönüştürmek istemesinde birçok farklı kriterin varlığı ve bu kriterlerin her birinin karar üzerinde farklı etkileri söz

konusudur. Literatürde işletmelerin dış kaynak kullanımını ile geri dönüşüm faaliyet kararlarına etki edecek kriterlerin belirlendiği ve sektörel olarak kriterlerin ağırlıklandırıldığı bir çalışmaya yer verilmemiştir. Bu çalışma, literatürdeki bu boşluğu dolduracak şekilde cam, çelik ve plastik olmak üzere konuyu üç farklı sektör üzerinde değerlendirecek ve olası sonuçları karşılaştıracaktır.

### 3. Materyal ve Metot

#### 3.1. Araştırma Tasarımı

Çalışma, altı temel adımdan oluşmaktadır (Şekil 1):

Şekil 1. Araştırma Adımları



#### 3.2. Yöntem

Çalışmada, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan BWM (Best-Worst Method) veya bir diğer adıyla en iyi en kötü yöntem kullanılmaktadır. Yöntem, 2015 yılında Razei tarafından karar vericilerin verdiği cevaplarda daha tutarlı sonuçların elde edilmesi için oluşturulmuştur. Razei (2015) tarafından geliştirilen yöntemin adımları şu şekildedir:

*Adım 1.* Tüm kriterler listelenir ( $C_1, C_2, \dots, C_n$ ).

*Adım 2.* Karar verici(ler) tarafından n adet kriterden en iyi ve en kötü olan kriterler belirlenir.

*Adım 3.* Karar verilen en iyi kriterin diğer kriterlere göre önem(tercih) durumu 1 ile 9 arasındaki sayılara göre belirlenir (Tablo 1). En iyi kriter göre oluşan vektör,  $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$  şeklindedir.

$a_{Bj}$ : kriter j üzerinden, en iyi kriterin B tercihinin gösterilmesidir.

Tablo 1. Kriterler için Karşılaştırma Ölçeği

Ölçek	1	3	5	7	9	2,4,6,8
Değer Tanımı	Eşit	Orta	Güçlü	Çok Güçlü	Mutlak Üstün	Ara Değerler

*Adım 4.* Bütün kriterlerin belirlenen en kötü kriter göre tercihi 1 ile 9 arasındaki sayı ile ifade edilir (Tablo 1). En kötü kriter göre oluşan vektör  $A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T$  şeklindedir.

$a_{jW}$ : kriter j'nin, en kötü kriter W üzerindeki tercihidir.



Adım 5. Optimal ağırlıklar ( $w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$ ) elde edilir.

Kriterler için optimal ağırlık  $w_B=w_j$  ve  $w_j=w_w$  olduğu yerde,  $w_B/w_j$  ve  $w_j/w_w$  olarak ifade edilmektedir.

Tüm j için koşulları sağlayacak şekilde bulunan çözüm;

$$\min \max_j \left( \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \right) \quad (1)$$

$\left(\frac{w_B}{w_j}\right)$ : en iyi kriterin ağırlığının j.kriterin ağırlığına oranıdır.)

$\left(\frac{w_j}{w_w}\right)$ : j. kriterin ağırlığının en kötü kriterin ağırlığına oranıdır.)

Modelde amaçlanan tutarlılık oranının minimum seviyede kalmasıdır. Bu sebeple modelin amaç fonksiyonu tutarlılık oranının en küçükleme şeklinde ifade edilmektedir. Eşitlik 1’de ağırlıkların negatif olmaması gerektiğinden revize edilen doğrusal model aşağıda şekilde oluşturulmuştur:

$$\text{Min } \xi \quad (2)$$

$$|W_B - W_j a_{Bj}| \leq \xi$$

$$|W_j - W_w a_{jw}| \leq \xi$$

$$\sum W_j = 1; W_j \geq 0$$

$(|W_B - W_j a_{Bj}| \leq \xi)$  denklemi; en iyi kriterin ağırlığının, j.kriterin ağırlığı ile kriter j üzerinden, en iyi kriterin B tercihinin çarpımı arasındaki farkın tutarlılık oranından küçük veya eşit olduğunu göstermektedir.)

$(|W_j - W_w a_{jw}| \leq \xi)$  denklemi; j. kriterin ağırlığının, en kötü kriterin ağırlığı ile kriter j’nin, en kötü kriter W üzerindeki tercihinin çarpımı arasındaki farkın tutarlılık oranından küçük veya eşit olduğunu göstermektedir.)

$(\sum W_j = 1 \text{ ve } W_j \geq 0)$ : tüm kriterlerin ağırlık değerlerinin 0’dan büyük ve herbir ağırlığın toplamının 1’e eşit olduğunun ifadeleridir.)

Bu model çözümünün ardından, kriterlerin ağırlıkları ve  $\xi$  (tutarlılık oranı) değerine ulaşılmaktadır.

Adım 6. Çalışmanın tutarlılığına karar verilir. Bu adımda Razei (2015)’nin çalışmasında yer verdiği tutarlılık indeks tablosundan yararlanılır.

Tablo 2. Tutarlılık İndeks (CI) Tablosu

abw	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CI	0.00	0.44	1.00	1.63	2.30	3.00	3.73	4.47	5.23

Çalışmanın Tutarlılık Oranı şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$(CR) = \frac{\xi}{CI} \quad (3)$$

Bu değer 1’in altında olması durumunda, verilerin yeterli tutarlılığa sahip olduğu kabul edilmektedir (Rençber & Avcı, 2018).

Buraya kadar ifade edildiği üzere BWM ile çözümlenecek problemler için önerilen denklemler, basit doğrusal programlama (Lineer Programing (LP)) modelini ifade etmektedir. Doğrusal Programlama problemleri Excel üzerinde hücrelere kriterlerin yerleştirilmesi, karar vericiler tarafından yapılan tercih düzeylerinin girilmesi (Tablo 1’e göre) ve ilgili denklemlerin (Eşitlik 2) çözücü yardımıyla yazılması doğrultusunda kolaylıkla e-ISSN: 2148-2683

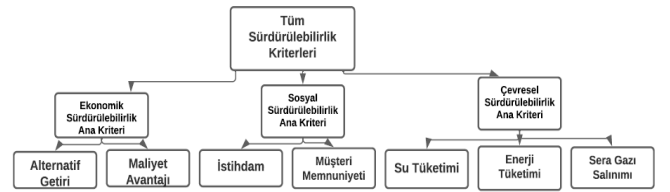
algoritma çözümü elde edilmektedir. Eşitlik (2)’de yazan parametrelerin ve denklemlerin her biri bu algorithmada yer almaktadır.

## 4. Uygulama

Çalışmanın uygulama kısmında yer alan tüm karar vericiler buldukları işletmenin sürdürülebilirlik departmanında 5 yıl veya daha fazla süredir tam zamanlı çalışan mühendislerden oluşmaktadır. Karar vericiler endüstri veya çevre mühendisliği mesleklerine sahip olan kişilerdir. Çalışmada cam, çelik ve plastik olmak üzere üç farklı endüstriden altışar kişi ile toplamda 18 uzmanla görüşülmüştür.

Çalışma toplam 7 kriterden oluşmaktadır (Şekil 2). Kriterlerden ikisi ekonomik, ikisi sosyal ve üçü çevresel sürdürülebilirlik boyutlarından oluşmaktadır. Çalışmada yer alan kriterler ilk olarak Bölüm 2.1’de yer alan mevcut literatürden çalışmayla bağlantılı olacak şekilde kurgulanmıştır. Ardından belirlenen kriterler için sekiz farklı uzmanla görüşülmüş ve bu kriterler uzmanlar tarafından uygun bulduktan sonra tüm karar vericilere BWM uygulaması yapılmıştır.

Şekil 2. Çalışma Kriterleri



Ekonomik Sürdürülebilirlik Boyutları;

C1 (Alternatif Getiri): Firmanın atık olarak ayırdığı ürünleri dış kaynak kullanımı ile geri dönüştürme sonucunda tekrar üretim faaliyetlerinde kullanmasının sağladığı ekonomik kazancı göstermektedir. Firma üretim süreçlerinde kullanacağı bu malzemeyi dışarıdan satın almak yerine tekrar kullanılacak hale dönüştürmektedir. Bu da alternatif bir getiri sağlamaktadır.

C2 (Elde edilen maliyet avantajı): Firmanın üretim süreçlerinde kullanacağı bir malzemeyi dışarıdan satın almak için ödeyeceği maliyet ile aynı malzemeyi atık olarak ayırdığı ürünlerden tekrar geri dönüşümle kazanması için katlanacağı maliyet arası farkı yansıtmaktadır.

Sosyal Sürdürülebilirlik Boyutları;

C3 (İstihdam): Yeni bir iş kolunun dahil edilmesiyle firmanın yeni çalışan ihtiyacı içine girebilme durumunu yansıtmaktadır.

C4 (Müşteri Memnuniyeti): Günümüzde tüketiciler sahip olduğu ürünü üreten üretici firmanın toplumsal konumuna ve sosyal durumuna da dikkat etmektedir. Bu sebeple firmaların toplum bilinciyle faaliyet göstermesi müşteriler açısından önemli olmaktadır.

Çevresel Sürdürülebilirlik Boyutları;

C5 (Su Tüketimi): Firmanın geri dönüşüm faaliyetini gerçekleştirmesiyle tasarruf edilen su miktarını yansıtmaktadır.

C6 (Enerji Tüketimi): Firmanın geri dönüşüm faaliyetini gerçekleştirmesiyle tasarruf edilen enerji miktarını yansıtmaktadır. Enerji hem kullanılan yakıt hem de elektrik tüketiminin birleşiminden oluşmaktadır.



C7 (Sera Gazı Salınımı): Firmanın geri dönüşüm faaliyetini gerçekleştirmesiyle çevreye yaydığı sera gazındaki farkı yansıtmaktadır.

#### 4.1. Plastik Sektöründe Uygulama

Plastik sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin sürdürülebilirlik departmanında çalışan altı mühendis ile yapılan görüşmeler sonucunda en iyi kriter ve en kötü kriter belirlenerek diğer kriterlere ağırlıklar verilmiştir. Her karar vericiden ayrı olarak toplanan bilgiler aşağıdaki tablolarda birleştirilmiştir.

Tablo 3. En İyi Kritere Göre Karar Vericilerin Değerlendirme Tablosu (Plastik Endüstrisi)

Karar Vericiler	En İyi	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
KV <sub>1</sub>	C1	1	2	9	3	7	5	7
KV <sub>2</sub>	C2	3	1	9	5	7	5	7
KV <sub>3</sub>	C2	2	1	9	5	5	5	7
KV <sub>4</sub>	C1	1	3	7	3	9	5	5
KV <sub>5</sub>	C2-C1	1	1	7	3	5	5	9
KV <sub>6</sub>	C1	1	3	7	4	5	5	9

Tablo 3’de dış kaynak kullanımı olarak geri dönüşüm faaliyetlerini üretim süreçlerine dahil etmeyi planlayan plastik sektöründeki firma çalışanlarının belirledikleri en iyi kriterler ve diğer kriterlere verdikleri ağırlıklar gösterilmektedir. Karar vericiler bu aşamada Tablo 1’den yararlanarak değerlendirmelerini yapmıştır. Karar vericilerden biri tarafından birden fazla kriter en iyi kriter olarak değerlendirilmiştir. Böyle bir durumda problem çözümü için yöntemde herhangi bir sınırlandırma bulunmamaktadır. Doğrusal programlama ile modellenen problemde, analiz için öncelik ilk tanımlanmış kriterlere verilmektedir (Yukarıdaki tablo için C1 kriteri). Ancak aksi de olsa model çözümünde ulaşılan değerler değişmemektedir. Tabloya göre karar vericiler için en iyi kriter C1 (alternatif getiri) veya C2 (maliyet avantajı) ’dir. Bu adımdan sonra her karar verici için en kötü kriter (en arkıl) belirlenmektedir.

Tablo 4. En Kötü Kritere Göre Karar Vericilerin Değerlendirme Tablosu(Plastik Endüstrisi)

Kriterler	KV <sub>1</sub>	KV <sub>2</sub>	KV <sub>3</sub>	KV <sub>4</sub>	KV <sub>5</sub>	KV <sub>6</sub>
	En kötü:C3	En kötü:C3	En kötü:C3	En kötü:C3	En kötü:C7	En kötü:C3
C1	9	4	5	7	9	9
C2	5	9	9	2	9	4
C3	1	1	1	1	3	1
C4	4	2	2	3	4	3
C5	2	2	2	2	2	2
C6	3	3	2	2	2	2
C7	2	2	1	2	1	1

Tablo 4’de plastik sektöründeki her karar verici tarafından belirlenen en kötü kriter (arkıl) ve diğer kriterlere 1-9 arasında verilen ağırlıklar gösterilmektedir. Karar vericiler bu aşamada Tablo 1’den yararlanmıştır. En kötü ağırlık, bu çalışma için geri dönüşüm kararı vermelerinde etkili olan kriterler için en son değerlendirilecek kriter olduğunu söylemektedir. Tabloya göre karar vericiler tarafından en kötü kriterin C3 (istihdam) veya C7 (sera gazı salınım)’den herhangi biri olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Kriterlerin Ağırlıkları ve Tutarlılık Oranları (Plastik Endüstrisi)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	CR
KV <sub>1</sub>	0,394	0,214	0,040	0,142	0,061	0,085	0,061	0,0342
KV <sub>2</sub>	0,164	0,452	0,045	0,098	0,070	0,098	0,070	0,0393
KV <sub>3</sub>	0,216	0,420	0,045	0,086	0,086	0,086	0,058	0,0124
KV <sub>4</sub>	0,408	0,153	0,051	0,153	0,051	0,091	0,091	0,0510
KV <sub>5</sub>	0,324	0,324	0,052	0,121	0,073	0,073	0,031	0,0418
KV <sub>6</sub>	0,424	0,159	0,053	0,119	0,095	0,095	0,053	0,0530
W <sub>j</sub>	<b>0,321</b>	<b>0,287</b>	<b>0,047</b>	<b>0,120</b>	<b>0,062</b>	<b>0,088</b>	<b>0,057</b>	<b>0,3863</b>

Tablo 5, her karar vericiye ait kriterlerin ağırlıklarının ve tutarlılık oranlarının gösterildiği tablodur. Tablodaki değerlere Excel Programının çözücü ile ulaşılmıştır. Tutarlılık oranı (CR)’nın genel ortalama değeri 0,3863 olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2. Cam Sektöründe Uygulama

Cam sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin sürdürülebilirlik departmanında çalışan 6 mühendis ile yapılan görüşmeler sonucunda en iyi kriterin ve en kötü kriterin belirlenerek diğer kriterlere de verdikleri değerler aşağıda tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 6. En İyi Kritere Göre Karar Vericilerin Değerlendirme Tablosu (Cam Endüstrisi)

Karar Vericiler	En İyi	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
KV <sub>7</sub>	C1	1	2	9	3	5	4	7
KV <sub>8</sub>	C1-C2	1	1	7	4	9	5	5
KV <sub>9</sub>	C2	3	1	9	5	7	5	6
KV <sub>10</sub>	C1	1	2	9	3	9	5	7
KV <sub>11</sub>	C1-C2	1	1	7	4	9	4	5
KV <sub>12</sub>	C1	1	2	7	9	9	3	7

Tablo 6’da dış kaynak kullanımı olarak geri dönüşüm faaliyetlerini üretim süreçlerine dahil etmeyi planlayan cam endüstrisindeki firma çalışanlarının, belirledikleri en iyi kriterler ve diğer kriterlere verdikleri ağırlıklar gösterilmektedir. Tablo 6’ya bakıldığında karar vericiler için en iyi kriterin C1 (alternatif getiri) veya C2 (maliyet avantajı) olarak ifade edildiği görülmektedir. Bir sonraki adımda her karar verici için en kötü kriter belirlenmektedir.

Tablo 7. En Kötü Kritere Göre Karar Vericilerin Değerlendirme Tablosu (Cam Endüstrisi)

Kriterler	KV <sub>7</sub>	KV <sub>8</sub>	KV <sub>9</sub>	KV <sub>10</sub>	KV <sub>11</sub>	KV <sub>12</sub>
	En kötü:C3	En kötü:C5	En kötü:C3	En kötü:C3-C5	En kötü:C5	En kötü:C5
C1	9	9	3	9	9	9
C2	7	9	9	5	9	6
C3	1	1	1	1	2	1
C4	4	3	2	4	3	1
C5	2	1	1	1	1	1
C6	2	2	2	2	3	3
C7	2	2	1	2	2	2

Tablo 7’de cam endüstrisindeki karar vericiler tarafından belirlenen en kötü kriterlere göre diğer kriterlerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Tablo 7 karar vericiler tarafından en kötü kriterin C3 (istihdam) veya C5 (su tüketimi)’den herhangi biri olduğunu göstermektedir.

Tablo 8. Kriterlerin Ağırlıkları ve Tutarlılık Oranları (Cam Endüstrisi)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	CR
<b>KV<sub>7</sub></b>	0,370	0,207	0,036	0,138	0,083	0,103	0,059	0,045
<b>KV<sub>8</sub></b>	0,321	0,362	0,040	0,090	0,040	0,072	0,072	0,040
<b>KV<sub>9</sub></b>	0,158	0,456	0,052	0,095	0,068	0,095	0,072	0,019
<b>KV<sub>10</sub></b>	0,404	0,214	0,042	0,143	0,047	0,085	0,061	0,025
<b>KV<sub>11</sub></b>	0,333	0,333	0,050	0,088	0,034	0,088	0,070	0,019
<b>KV<sub>12</sub></b>	0,394	0,226	0,047	0,064	0,050	0,151	0,064	0,059
<b>W<sub>j</sub></b>	<b>0,330</b>	<b>0,300</b>	<b>0,060</b>	<b>0,103</b>	<b>0,054</b>	<b>0,099</b>	<b>0,066</b>	<b>0,034</b>

Tablo 8' göre cam endüstrisinde yapılan uygulamaya ait tutarlılık oranının (CR) genel ortalama değeri 0,0349 olarak hesaplanmıştır.

### 4.3. Çelik Sektöründe Uygulama

Çelik sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin sürdürülebilirlik departmanında çalışan 6 mühendis ile yapılan görüşmeler sonucunda en iyi kriterin ve en kötü kriterin belirlenerek diğer kriterlere de verdikleri değerler aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 9. En İyi Kriterlere Göre Karar Vericilerin Değerlendirme Tablosu (Çelik Endüstrisi)

Karar Vericiler	En İyi	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
<b>KV<sub>13</sub></b>	C1	1	2	5	5	7	6	9
<b>KV<sub>14</sub></b>	C1	1	3	7	3	5	4	9
<b>KV<sub>15</sub></b>	C1-C2	1	1	9	5	5	4	7
<b>KV<sub>16</sub></b>	C2	2	1	9	7	7	5	5
<b>KV<sub>17</sub></b>	C1	1	3	7	5	9	5	5
<b>KV<sub>18</sub></b>	C2	2	1	7	5	7	5	9

Tablo 9'a bakıldığında karar vericiler için en iyi kriterin C1 (alternatif getiri) veya C2 (maliyet avantajı) olduğu görülmektedir. Bir sonraki adımda her karar verici için en kötü kriter belirlenmektedir.

Tablo 10. En Kötü Kriterlere Göre Karar Vericilerin Değerlendirme Tablosu (Çelik Endüstrisi)

Kriterler	KV <sub>13</sub>	KV <sub>14</sub>	KV <sub>15</sub>	KV <sub>16</sub>	KV <sub>17</sub>	KV <sub>18</sub>
En kötü:C7	En kötü:C5-C7	En kötü:C3	En kötü:C3	En kötü:C5	En kötü:C7	
<b>C1</b>	9	9	9	7	9	7
<b>C2</b>	5	6	9	9	7	9
<b>C3</b>	2	2	1	1	2	2
<b>C4</b>	3	2	3	2	3	3
<b>C5</b>	1	1	2	2	1	2
<b>C6</b>	1	2	3	3	3	3
<b>C7</b>	1	1	2	3	3	1

Tablo 10'da çelik endüstrisindeki karar vericiler tarafından belirlenen en kötü kriterlere göre diğer kriterlerin değerlendirilmesi yapılmış ve karar vericiler tarafından en kötü kriterin C3 (istihdam), C5 (su tüketim azalımı) veya C7 (sera gazı salınım azalımı)'den herhangi biri olduğu görülmüştür.

Tablo 11. Kriterlerin Ağırlıkları ve Tutarlılık Oranları (Çelik Endüstrisi)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	CR
<b>KV<sub>13</sub></b>	0,405	0,231	0,092	0,092	0,049	0,077	0,051	0,056
<b>KV<sub>14</sub></b>	0,370	0,165	0,070	0,165	0,048	0,124	0,055	0,126
<b>KV<sub>15</sub></b>	0,337	0,337	0,034	0,073	0,073	0,091	0,052	0,029
<b>KV<sub>16</sub></b>	0,231	0,411	0,040	0,066	0,066	0,092	0,092	0,050
<b>KV<sub>17</sub></b>	0,418	0,168	0,072	0,101	0,036	0,101	0,101	0,088
<b>KV<sub>18</sub></b>	0,231	0,411	0,066	0,092	0,066	0,092	0,040	0,050
<b>W<sub>j</sub></b>	<b>0,332</b>	<b>0,287</b>	<b>0,062</b>	<b>0,098</b>	<b>0,056</b>	<b>0,096</b>	<b>0,065</b>	<b>0,066</b>

Tablo 11'e göre çelik endüstrisinde yapılan uygulamaya ait tutarlılık oranının (CR) genel ortalama değeri 0,0668 olarak hesaplanmıştır.

## 5. Sonuç ve Değerlendirme

Günümüzde kaynakların bilinçsizce kullanımı, atık miktarlarındaki artış ve ekosistemde yaratılan kirlilik gibi çevresel endişeler, müşteri ve çalışanlar tarafından istenen sosyal haklar, rekabet ve finansal gücü sağlayan ekonomik baskılar endüstriyel sistemleri sürdürülebilir olmaya yaklaştırmaktadır. İşletmelerin harekete geçtiği sürdürülebilir çabalardan biri atık yönetimlerini sağlayacakları geri dönüşüm faaliyetleridir. Firmaların kendi faaliyet alanlarının dışına çıkmadan dış kaynak kullanımı ile geri dönüşüm faaliyetlerine olan isteği artmaya başlamış ve bu kararları vermeden çeşitli senaryoları değerlendirmek istemektedir. Bu çalışmada da geri dönüşüm faaliyetlerini uygulamak isteyen üç farklı endüstrinin kararlarını şekillendirmede belirleyici olan kriterler uzmanlarca değerlendirilmiş ve önceliklendirilmiştir.

Üç endüstride de ulaşılan sonuçlarda tutarlılık oranının 0'a nispeten yakın olduğu görülmektedir (Tablo 12).

Tablo 12. Tutarlılık Oran Tablosu

Plastik Endüstrisi	Cam Endüstrisi	Çelik Endüstrisi
0,3863	0,0349	0,0668

Bu değerlerin 1'in altında kalıyor olması ve 0'a yaklaşması Razei (2015) tarafından karar vericilerin yaptıkları değerlendirmelerde başarılı ve kabul edilebilir bir tutarlılığın göstergesi olarak görülmüştür.

İlk olarak plastik sektöründe ulaşılan sonuçlara tutarlılık oranının 1'den küçük olması sebebiyle güvenileceği ifade edilmelidir. Çalışma sonuçlarına göre geri dönüşüm kararını etkileyen en iyi kriter 0,3218 ağırlık oranıyla alternatif getiri, ikinci en iyi kriterin 0,2872 ağırlık oranıyla elde edilen maliyet avantajı olduğu görülmüştür. İki kriterin de finansal bir boyut olması sebebiyle, plastik endüstrisindeki işletmelerin geri dönüşüm kararı vermelerinde en büyük etkinin ekonomik sürdürülebilirlik kriterleri tarafından sağlandığı söylenebilir. Çünkü analiz sonucunda iki ekonomik göstergenin etkisinin tüm göstergeler içinde yaklaşık %60'a (toplam 0,609 ağırlık oranı) ulaştığı görülmektedir. Üçüncü en iyi kriter ise 0,1203 ağırlık oranıyla sosyal sürdürülebilirlik kriterlerinden müşteri memnuniyetidir. Verilecek kararda en az belirleyici (kötü) kriter ise diğer sosyal sürdürülebilirlik boyutu olan istihdam olarak belirlenmiştir. Yani yeni bir iş kolunun dahil edilmesiyle tesis içerisinde bir iş olanağının yaratılması, karar vericiler tarafından diğer kriterlere nazaran önemli görülen bir durum değildir.

Çevresel sürdürülebilirlik kriterleri ise ekonomik sürdürülebilirlik hedeflerine göre daha az önemli görülmüştür.

Cam sektöründe gerçekleştirilen uygulama sonuçlarına göre 0,0349 ağırlık oranıyla en iyi tutarlılık oranına ulaşılmıştır. Bu değer ulaşılan sonuçlara güvenebileceğini göstermektedir. Tablo sonuçları değerlendirildiğinde geri dönüşüm kararını etkileyen en iyi kriterin 0,3305 ağırlık oranıyla alternatif getiri, ikinci en iyi kriterin 0,300 ağırlık oranıyla elde edilen maliyet avantajı olduğu görülmüştür. Geri dönüşüm kararını etkileyen finansal göstergeler tüm göstergelerin içinde 0,6305 ağırlık oranına sahip olması sebebiyle önemlidir. Üçüncü en iyi kriter ise 0,103 ağırlık oranıyla müşteri memnuniyetidir. Diğer kriterler önem sırasıyla enerji tüketimi, sera gazı ve istihdamdır. Son olarak 0,0540 ağırlık oranıyla su tüketim kriteri, cam sektöründe geri dönüşüm kararı verilmesinde en az etkili olan kriter olarak belirlenmiştir. Çevresel sürdürülebilirliğin bir boyutu olan su tüketimi, cam sektöründeki uzmanların kararını diğerlerine nazaran en son sırada etkilemektedir.

Son uygulama alanı olan çelik sektöründe analiz sonucunda ulaşılan 0,0668 tutarlılık oranı ile karar vericiler tarafından yapılan değerlendirilmelere güvenebileceği gözükmektedir. Çelik sektöründe verilmesi planlanan geri dönüşüm kararında etkili olan en iyi kriter 0,3322 ağırlık oranıyla alternatif kazanç ve diğer en iyi kriter 0,2877 ağırlık oranıyla maliyet avantajı olarak belirlenmiştir. Diğer kriterlerin ağırlık puanlarına bakıldığında önem sırasına göre müşteri memnuniyeti, enerji tüketimi, sera gazı salınımı istihdam kararda etkili olmuştur. En düşük ağırlığa sahip su tüketimi ise, çelik sektöründe dış kaynak kullanımında geri dönüşüm faaliyet kararı açısından en geride kalan kriterdir.

Tüm sektörler genel açıdan bakıldığında üç sektör için de ekonomik sürdürülebilirlik kriterleri, geri dönüşüm kararında en belirleyici olan boyutlar olarak ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda alternatif kazanç kriteri, tüm sektörlerde verilecek kararın en iyi kriteri olarak tespit edilmiştir. Plastik, cam ve çelik sektörü uygulama sonuçlarında en yüksek ağırlığa sahip üçüncü kriter de ortak olarak müşteri memnuniyetidir. Karar vericiler tarafından bu kriter yüksek önem verilmesinde, uzun dönemde müşteri memnuniyetinin firmanın olası sürdürülebilirlik sonuçlarına büyük katkı vereceği beklentisi olabilir. Özetle, firmaların geri dönüşüm kararı vermelerinde etkili olan en önemli ilk üç kriteri, sektörel olarak değişmemektedir. Analiz sonucunda en düşük ağırlığa sahip (en kötü) kriter ise plastik sektöründe istihdam olurken, çelik ve cam endüstrisinde su tüketimi olmuştur.

Çalışmada eş zamanlı incelenen boyutların, sektörel karşılaştırmaların ve uzman görüşleri sonucunda ulaşılan sonuçların, alanın ilk çalışması olması sebebiyle hem literatüre hem de sektördeki uygulayıcılara katkı sağlaması beklenmektedir.

Bundan sonraki araştırmalar için çalışmada incelenen plastik, cam ve çelik endüstrilerine ilave olarak eklenecek farklı ürün grupları da çalışmayı genişletecektir. Ayrıca çalışmanın sadece tehlikesiz endüstriyel atıklar için yapılmış olması sebebiyle, benzer sektörlerdeki tehlikeli atıklar için de yeni yapılacak çalışmaların literatüre destek sağlayacağı beklenmektedir. Tehlikeli atıklar için yapılması muhtemel çalışmalarda farklı sürdürülebilirlik boyutlarının çalışmaya yeni kriterler olarak eklenmesi de bu alandaki çalışmalara farklı bakış açıları sunabilir. Bu sayede hem tehlikeli hem de tehlikesiz atıklar için çıkan sonuçlar karşılaştırılarak benzerlikler veya farklılıklar tartışılabilir.

## Kaynakça

- Abdelaziz, F.B., Alaya, H., & Dey, P.K. (2020). A multi-objective particle swarm optimization algorithm for business sustainability analysis of small and medium sized enterprises, *Annals of Opr. Res.*, (293), 557-86.
- Alba Ingenieros. (2012). S. La Energía de los Residuos. Erişim Tarihi: 31.07.2021, <https://www.fenercom.com/publicacion/la-energia-delos-residuos/>.
- Ahi, P., & Searcy, C. (2015). An analysis of metrics used to measure performance in green and sustainable supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 86 (1), 360-377.
- Ameer, R. & Othman, R. (2012). Sustainability practices and corporate financial performance: A study based on the top global corporations. *Journal of Business Ethics*, 108 (1), 61–79.
- Chaudhary, K., & Vrat, P. (2020). Circular economy model of gold recovery from cell phones using system dynamics approach: a case study of India. *Environment, Development and Sustainability*, 22, 173–200.
- Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Papadopoulos T., Luo, Z., & Roubaud, D. (2020). Upstream supply chain visibility and complexity effect on focal company's sustainable performance: Indian manufacturers' perspective. *Annals of Opr. Res.* (290), 343-67.
- Elliott, S. R. (2005). Sustainability: an economic perspective. *Resources. Conservation and Recycling*, 44, 263–277.
- Eltayeb, T. K. & Zailani, S. (2010). Investigation on the drivers of green purchasing towards environmental sustainability in the Malaysian manufacturing sector. *Int. J. Procurement Management*, 3(3), 316.
- EPA. (2018). *Durable Goods: Product-Specific Data*. Erişim Tarihi: 1.08.2021, <https://www.worldsteel.org/about-steel/steel-facts.html>.
- Erol, İ., & Özmen, A. (2018). Çevresel düzeyde sürdürülebilirlik performansının ölçülmesi: Parekende sektöründe bir uygulama. *İktisat İşletme ve Finans*, 23(266), 70-94.
- Gatimbu, K., Ogada, M., Budambula, N., & Kariuk, S. (2018). Environmental sustainability and financial performance of the small-scale tea processors in Kenya. *Business Strategy & the Environment*, John Wiley & Sons, 27(8), 1765-1771.
- Glavas, A., & Mish, J. (2015). Resources and capabilities of triple bottom line firms: going over old or breaking new ground?. *Journal of Business Ethics*, 127(3), 623-642.
- Goodland, R. (1995). The Concept of environmental sustainability. *Annual Review of Ecology and Systematics*, , 1-24.
- Govindan, K., Jha, P. C., Agarwal, V., & Darbari, J. D. (2019). Environmental management partner selection for reverse supply chain collaboration: A sustainable approach. *Journal of Environmental Management*, 236, 784-797.
- Gregory, J. R., & Kirchain, R. E. (2008). A framework for evaluating the economic performance of recycling systems: a case study of North American electronics recycling systems. *Environmental Science & Technology*, 42(18), 6800–8.
- Harris, J. (2000). Basic principles of sustainable development. *Dimensions of Sustainable Development*, 21-41.
- Haryani, T., & Subriadi, A.P. (2021). E-commerce acceptance in the dimension of sustainability. *Journal of Modelling in Management*. doi 10.1108/JM2-05-2020-0141.

- Holappa, L. (2020). A general vision for reduction of energy consumption and CO2 emissions from the steel industry. *Metals*, 10, 1117; doi:10.3390/met10091117.
- Hu, J., Liu, Y., Yuen, T., Lim, M. & Hu, J. (2019). Do green practices really attract customers? the sharing economy from the sustainable supply chain management perspective. *Resources. Conservation and Recycling*, 149, 177–187.
- Hubbard, G. (2009). Measuring organizational performance: beyond the triple bottom line. *Bus. Strateg. Environ.* 18, 177-191.
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>.
- Kurnaz, N., & Kestane, A. (2016). Kurumsal sürdürülebilirliğin ekonomik açıdan incelenmesi ve yatırımcı davranışları ilişkisi: BİST sürdürülebilirlik endeksinde bir uygulama. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 49, 278-302.
- Küçük, M., & Güneş, G. (2013). Sivil toplum kuruluşları ve çevresel sürdürülebilirlik. *Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 5(2), 298-311.
- Larsen, A. W., Merrild, H., & Christensen, T. H. (2009). Recycling of glass: Accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Manag. Res.*, 27, 754–762.
- Lenort, R., Staš, D., Wicher, P., Holman, D., & Ignatowicz, K. (2017). Comparative study of sustainable key performance indicators in metallurgical industry. *Annual Set The Environment Protection*, 19, 36-51.
- McMichael, A. J., Butler, C. D., & Folke, C. (2003). New visions for addressing sustainability. *Science*, (302), 1919-1920.
- Ni, W., & Sun, H. (2019). The effect of sustainable supply chain management on business performance: Implications for integrating the entire supply chain in the chinese manufacturing sector. *Journal of Cleaner Production*, 232, 1176–1186. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.384.
- Rao, P. (2002). Greening the supply chain: A new initiative in South East Asia. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(5), 631-655.
- Rezaei, J. (2015). Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method. *Omega*, 53, 49-57.
- Santos, M. A. D., Svensson, G., & Padin, C. (2013). Indicators of sustainable business practices: Woolworths in South Africa. *Supply Chain Manag. Int. J.*, 18 (1), 104-108.
- Shrivastava, P. (1995). The role of corporations in achieving ecological sustainability. *Academy of Management Review*, 20(4), 936-960.
- Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., & Dikshit, A. K. (2007). Development of composite sustainability performance index for steel industry. *Ecol. Indic.*, (7), 565588.
- Spallini, S., Milone, V., Nisio, A., & Romanazzi, P. (2021). The Dimension of Sustainability: A Comparative Analysis of Broadness of Information in Italian Companies. *Sustainability* 2021, 13(3), 1457; <https://doi.org/10.3390/su13031457>.
- Sudharsan, N., Palanisamy, T., & Subhash, C. Y. (2018). Environmental sustainability of waste glass as a valuable construction material-A critical review. *Ecol. Environ. Conser.*, 24, 331–338.
- Szekely, F., & Knirsch, M. (2005). Responsible leadership and corporate social responsibility: metrics for sustainable performance. *Eur. Manag. J.*, 23 (6), 628-647.
- Tajbakhsh, A., & Hassini, E. (2015). Performance Measurement of Sustainable Supply Chains: A Review and Research Questions. *Int. J. Product. Perform. Manag.*, 64, 744–783.
- Tsai, W., & Hung, S. (2009). A fuzzy goal programming approach for green supply chain optimisation under activity-based costing and performance evaluation with a value-chain structure. *International Journal of Production Research*, 47 (18), 4991–5017.
- Vachon, S., & Mao, Z. (2008). Linking supply chain strength to sustainable development: a country-level analysis. *J. Clean. Prod.*, 16 (15), 1552-1560.
- Wang, Q., Li, J., Yan, H., & Zhu, S. X. (2016). Optimal remanufacturing strategies in name-your-own-price auctions with limited capacity. *Int. J. Production Economics*, 181, 113–129.
- World Steel Association. (2020). *Steel facts*. Erişim Tarihi: 1. 08. 2021, <https://www.worldsteel.org/about-steel/steel-facts.html>.





# Challenging the implicit bias: An application of linear regression with NLP for churn prediction

Emre Ozmen<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Nişantaşı University, Institute of Graduate Studies, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5541-1155), [emre.ozmen@nisantasi.edu.tr](mailto:emre.ozmen@nisantasi.edu.tr)

(First received 29 September 2021 and in final form 22 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1002211)

**ATIF/REFERENCE:** Ozmen, E. S. (2021). Challenging the implicit bias: An application of linear regression with NLP for churn prediction. *European Journal of Science and Technology*, (31), 399-408.

## Abstract

The problems with working in churn prediction are twofold. First, unlike pure science, the practical applications of data in the business world limit the probability of collecting real data—that is, more data is subject to big data, more regulative liabilities in the real business world occur. These results in data collection becoming more challenging despite the increased practicality of the findings. Despite a limited version of KDD (Knowledge Discovery and Data Mining, as an Association of Computing Machinery initiation) competition data, this study introduces unique ideas by placing inceptions within typical stages of churn prediction. As part of this study, four proposals were generated and applied, and the winning model was challenged with double-digit improvement in each aspect of the classification performance trio—namely accuracy, precision, and recall, where favoring the latter the most. Proposals can be summarized as validations with regressors, recall-biased metrics, probability-favoring optimizations and customer sentiments-empowered results.

**Keywords:** Churn predictions, NLP optimizations, Recall-biased systems, Linear regression as classifier

## Lineer regresyon ile NLP uygulamasının müşteri kaybı analizine adaptasyonu

### Öz

Müşteri kaybı tahmini çalışmanın önünde muhtelif engeller vardır. Birincisi, salt pozitif bilim alanından farklı olarak, iş dünyasının doğası gerçek bir veri bulma olasılığını sınırlamaktadır. Başka bir deyişle iş dünyasında daha fazla veri düzenleyici bulunmakta, yükümlülükler paylaşılmasını giderek zorlaştırmakta ama buna mukabil bulguların pratikliği daha anlamlı hale gelmektedir. Bu makale ile, KDD (Bilgi İşleme Derneği tarafından yönetilen, Bilgi Keşfi ve Veri Madenciliği oluşumu) yarışma verisinin sınırlı bir versiyonu ile çalışılmasına rağmen, dört öneri oluşturulmuş ve uygulamaları sergilenmiştir. Öneriler, regresörle doğrulamalar, hatırlamayı destekleyen metrikler, olasılık lehine optimizasyonlar ve müşteri yorumları ile güçlendirilmiş sonuçlar olarak özetlenebilir. Kazanan model, hatırlamaya odaklanmasına rağmen, sınıflandırma performans üçlüsünün her birinde, doğruluk, kesinlik ve hatırlamada çift haneli iyileştirme sağlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kayıp tahminleri, NLP optimizasyonları, Hatırlama odaklı metrikler, Sınıflandırıcı olarak regresyon

\* Corresponding Author: [emre.ozmen@nisantasi.edu.tr](mailto:emre.ozmen@nisantasi.edu.tr)

## 1. Introduction

The foundations of centuries-old business operations lie in extensive military learnings and medical needs, which were instrumental in launching data science. Both fields have widespread applications regarding data today, and continue to reflect the nuances of their predecessors, which may be favorable or unfavorable; these nuances might aid the application of data by providing leading factors, or hinder the process by introducing a lagging factor. The objective of this paper is to introduce a lagging factor (Fayyad et al., 1996; Kabasakal, 2020; Peng et al., 2008).

Regulatory bodies, financial institutions, and mobile operators have three characteristics in common: first, all three industries have entry barriers, and therefore relatively few players. Second, they run mass businesses, cater to both consumers and corporations, and deal in millions. Third and most importantly, they cannot resell their services, and therefore have to manage their customers directly (Ozmen et al., 2018; Karahoca et al., 2007).

From a prediction perspective, these characteristics require players in these industries to have access to a fair size of big data with real-time notions. These data are able to expose the full extent of estimation, from regression to classification and from natural language processing (NLP) to recommenders. In practice, nearly all aspects of the mobile operating industry can be represented by these data, including revenue forecasts (average revenue per user (ARPU), acquisition/churn projection, customer satisfaction analysis, and product/service recommendations (Huang et al., 2012; KDD, 2018).

The problems with working in churn prediction are twofold. First, unlike pure science, the practical applications of data in the business world limit the probability of finding real data—that is, more data is subject to big data with regulative liabilities in the real business world. This results in data collection becoming more challenging despite the increased practicality of the findings. (Xiao et al., 2016).

With respect to mobile operators, this discrepancy results in a coupling, wherein a group that works with mobile operators with the best real data on real problems is unable to publish this work owing to company asset restrictions, whereas another group that works with special occasion data can publish the information, but the limited applicability diminishes its value. From a scientific developmental perspective, this duality hinders findings production and shares. However, this does not stop stakeholders from employing this dichotomy (Au et al., 2003).

## 2. Dataset

The Association for Computing Machinery (ACM) has been serving the machine learning community since the late-1990s as pioneers of the dataset world, characterized by the initiation of high practicality samples that the ACM calls Knowledge Discovery in Databases (KDD). KDD refers to the broad process of finding knowledge in data and emphasizes the “high-level” application of certain data mining methods. KDD is of particular interest to machine learning, pattern recognition, databases, statistics, artificial intelligence, knowledge acquisition for expert systems, and data visualization.

The KDD Cup 2009 is one of the most renowned KDD datasets out of over 20. It offers the opportunity to work on large marketing databases of the French telecoms company Orange to predict the propensity of customers to switch providers (churn), buy new products or services (appetency), or buy proposed upgrades and add-ons to make more profitable sales (up-selling). The dataset consisted of 100,000 instances split randomly into equally sized training and test sets. Of these, 15,000 variables were made available for prediction, out of which 260 were categorical. Most of the categorical variables and 333 of the continuous variables had missing values. The applications for this particular competition yielded a final fast-track performance of 0.7651 on churn, 0.8816 on appetency, and 0.9091 on up-selling. Years later, this was challenged with variations of 10% more inaccuracy.

## 3. Proposals

This study scrutinizes the less discussed aspects of the dataset, particularly the churn aspect, through the following four proposals (P):

1. Scrutinizing an implicit bias: Can linear regression be used in a classification problem?

2. AUC (Area Under Curve) optimization: Can decreasing precision or recall help us? Churn’s Type-I receptive nature (unlike that of spam email detection) involves blaring a “false alarm” by trading off with a false negative.

3. Fuzzy logic vs. binary classification: With regard to KDD “emphasizing the ‘high-level’ application” of datasets, promoting the utilization of probabilities instead of traditional binary classification.

4. Feature engineering with NLP: Make customer feedback part of features.

One of the primary limitations is that the original data is no longer being published; therefore, the demonstration for this study was conducted on a smaller version, containing 7,044 records and 21 labels, of which the vast majority are self-explanatory: customerID, gender, SeniorCitizen, PartnerDependents, tenure, PhoneService, MultipleLines, InternetService, OnlineSecurity, OnlineBackup, DeviceProtection, TechSupport, StreamingTV, StreamingMovies, Contract, PaperlessBilling, PaymentMethod MonthlyCharges, TotalCharges, and Churn.

### 3.1. Scrutinizing an Implicit Bias

Linear regression has not been previously used for classification owing to the implicit bias it generates. The binary decisions of all classification models are based on probabilities, and hence, there are no technical limitations that keep linear regression from being applied to probabilities. As long as the regression predictions are between 0 and 1, the results can be utilized to make binary decisions. The primary reason that linear regression was not used was not only because it was considered a non-classifier but also because it was tacitly perceived as the least trivial predictor model (Chen et al, 2017). On the other hand, although it is—that is, binary decision points are also a possibility for regressors—they may not be as useful as perceived. (Rajbahadur et al., 2017) This introduced an incremental discussion point, which was addressed in P3.

### 3.2. AUC Optimization

Lift scores might help with segmentation and cause a boost in confidence levels; however, they may not always be helpful. For mass mailing operations, companies may want to choose 10% with the best accuracy from among their over 10 million customers, which would allow them to decrease their required budget while increasing efficiency. However, unlike in segmentation for mass emails, churn job predictions are unable to do this. Additionally, doing so would jeopardize royalty management, which would need to ignore the vast majority of data.

		Predicted	
		-	+
Actual	-	True Negative	False Positive <b>Type I</b>
	+	False Negative <b>Type II</b>	True Positive

Figure 1. Churn scenario (left) vs. Spam scenario (right)

The churn scenario would accept false alarms while decreasing false negatives, since treating no-churn customers as churn customers would not have an adverse impact on the company. The only risk they took is spending a bit more on royalty than required; however, by doing this, they mitigate the risk of treating a churn customer as a no-churn customer, thus decreasing precision but increasing the information they need (Bell et al., 2019; Sedgwick, 2012)

The spam scenario would accept false negatives while decreasing false alarms, since treating spam customers as no-spam customers would not adversely impact the company. The only risk they took is having a few more emails than usual; however, they mitigate the risk of treating a no-spam email as a spam email, thus decreasing recall but increasing the information they need.

In summary, churn applications prefer false alarms compared to false negatives and would rather pick Type I compared to Type II, thus decreasing precision but increasing the useful knowledge, as favored by KDD.

### 3.3. Fuzzy Logic vs. Binary Classification

Traditional practices with medical applications need to make decisions about whether or not to initiate treatment, since it is usually impossible to apply a partial treatment. However, this is not the case in most business applications, where the graduality is well-received on most occasions, since multiple options are offered. From this perspective, even if the classification is applied, unlike the norm, the binary is not necessarily the most useful, and probabilities might be a better fit (Amaral et al., 2019; Vannucci et al., 2011). In this approach, the necessity of making decisions about secondary options through AUC manipulation would be redundant, since the value of categorization is diminished. In other words, a 51%

For optimization, manipulating the AUC might yield some useful combinations. However, the traditional approach, which utilizes medical applications, does not have the luxury of a second decision point; a healthy individual cannot be termed otherwise, and vice-versa. One of the differentiators of classification in the domain of a regression model is that different problems may require polarized decisions. AUC is known for four typologies; while favoring true positive is the ultimate goal, decisions (except medical derivatives that favor F1) about second preferences are also important. As shown in Figure 1, churn may accept false positives as the secondary choice, whereas spam would do the opposite and opt for the false negatives as the secondary choice.

probability does not have to yield 1 nor does it have to be treated with 99%. When this is a possibility, the churn problem can even be a part of the regressors' world and increase the modeling selections.

### 3.4. Feature Engineering with NLP

Traditionally, customer records are not graded and do not constitute mobile operators' prediction labels. Despite having over a thousand labels, this is also true for The Orange Lab dataset distributed by KDD. Since predicting churn is indicative of customer satisfaction and may already exist within the organization, it is notable that the juxtaposition has not been addressed adequately, and therefore, churn prediction can be claimed to have an implicit bias towards less successful estimations.

Today, customer records arrive as calls and emails, with the former easily able to be transformed to the latter through common audio-to-text libraries. Even with primitive text mining features, a compound Vader score can be generated for each customer that can contribute to the labels, which might lead to greater accuracy. Probabilities may contribute to customer management screens, since providing call center agents access to the churn probability instead of manual flags or binary classification will allow them to offer the designated products to customers.

Besides the four types of revenue derivatives, the vast majority of labels were categorical, followed by six binary typologies, such as the target "Churn" column. Owing to categorical dominance, the Phik correlation was applied through a powerful pandas profiling library. As shown in Figure 2, significant centric interdependencies of revenue labels as well as tenure and MonthlyCharges were noted.

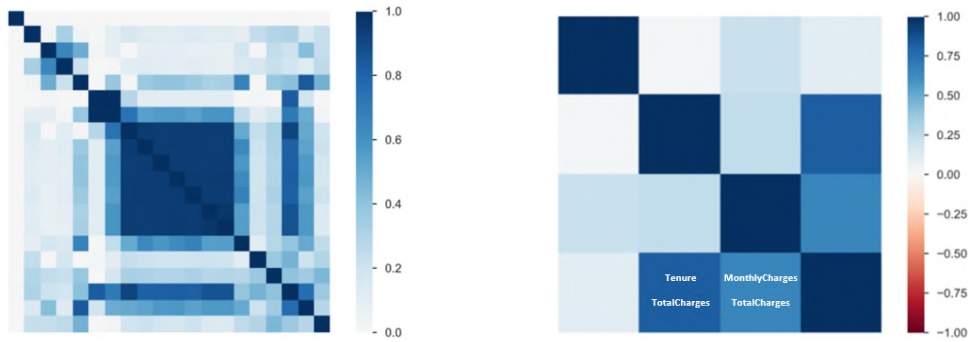


Figure 2. Density Phik (left) vs. Summary Phik (right)

Early descriptive findings showed that correlated labels had polarized densities over “Churn.” As shown in Figure 3, higher-paying customers were more sensitive to churn, where it implicitly referred to higher-maintenance customers with high expectations. On the other hand, the longer a customer stayed

with the company, the less likely were the churns. This coupling raised the dilemma of a high-tenure customer spending less, i.e., owing to the cumulative nature of the latter, tenure and total charges were significantly correlated. However, this may not be the case in the churn specifics.

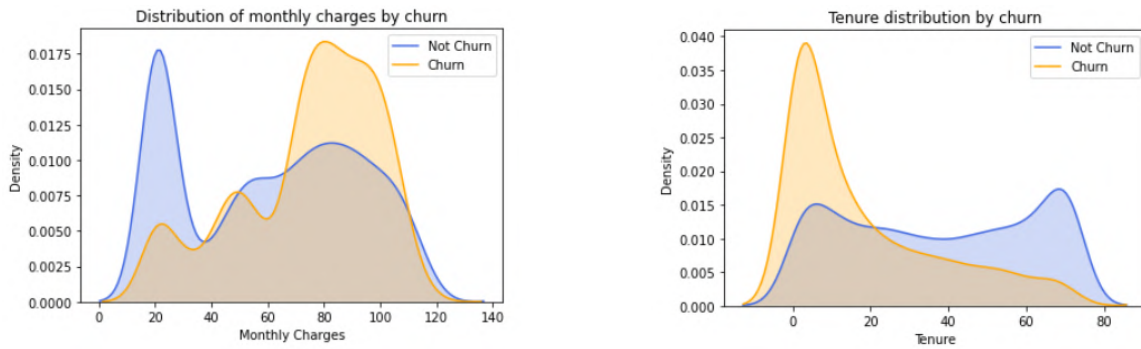


Figure 3. Churn by Monthly Charges (left) vs. Churn by Tenure (right)

From the preprocessing perspective, both `get_dummies` and `OneHotEncoder` were practiced. For numeric figures, both `StandardScaler` and `MinMaxScaler` were applied. Retrospectively, all combinations yielded similar results. Data was split 80% and 20% for training and test partitions respectively. Cross-validation efforts were parked for the final optimization stage.

As shown in the first bullet below, `LogisticRegressor`, `RandomForestClassifier`, `XGBClassifier`, and `GradientBoostingClassifier` were pinned for the fasttrack, where Gradient Boosting led with 0.80 accuracy, similar to the champion’s score. The second bullet refers to an underdog, `LinearRegression`, which produced the best result, with 0.81 accuracy. More importantly, it produced a better recall result, 0.52, which is 10% more than the Gradient Boost. Notably, none of the competition participants practiced `LinearRegression` due to the classification dichotomy of the problem discussed earlier. The third bullet honors the best model, `LinearRegression`, with

AUC optimization favoring better recall by trading off the precision. As shown in Figure 4, this kept the number of incorrect predictions (280) from being exploited. To be precise, 198/98 was considered 172/98 with 0.45 tolerance, i.e., accuracy was not jeopardized by smaller tolerances, although smaller tolerances will yield better recall figures. Efforts yielded 10% more compared to its predecessor, with a 0.58 recall score.

Notably, once regressors produce between 0 and 1, both RMSE and Accuracy are mentionable simultaneously. To summarize the findings:

- GB Classifier, 0.50 Tolerance | Accuracy = 0.80 | Precision = 0.68 | Recall = 0.47
- Lin Regressor, 0.50 Tolerance (RMSE = 0.44) | Accuracy 0.81 | Precision = 0.65 | Recall = 0.52
- Lin Regressor, 0.45 Tolerance (RMSE = 0.45) | Accuracy 0.80 | Precision = 0.61 | Recall = 0.58



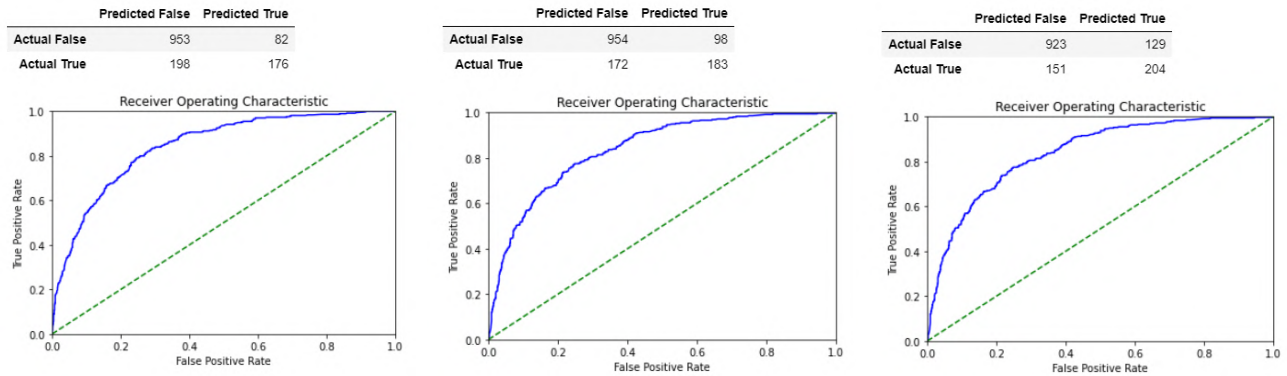


Figure 4. 1st Winning Model (left) vs. 2nd Winning Model (center) vs. AUC (right)

From a practicality perspective, around 50 people switched from missed churn numbers to a false alarm, where the latter is preferable. Additionally, around 30 people transferred to churn numbers so they may be over-treated, i.e., the model will have around 25% fewer missed churn numbers and around 60% more false alarms (bearable rounding error) with around 20% penalized (safer from a royalty/churn management standpoint), resulting in greater churn numbers.

#### 4. Feature engineering with text mining

Text mining has a rich history, with roots can be traced to the library efforts of the first established universities. Over the course of several years, its capabilities expanded from summarization to information extraction/discovery, clustering, context/topic meaning, and deep discovery, such as identifying sentiments, idioms, and innuendo. Such software can also identify entities and emotions in a sentence and use these to determine if the entity is being viewed positively or negatively (Lu et al., 2012).

Often, a sentiment cannot be understood by merely studying words, which complicates the process of text mining. Sentiment analysis is generally a starting point in analyzing a text and is then coupled with other techniques such as topic analysis. Sentiment analysis is usually done using a corpus of positive and negative words; some sources compile lists of positive and negative words, whereas others include the polarity—the degree of positivity or negativity—of each word (Niculescu-Mizil et al., 2009).

Miner’s algorithm distinguishes sentiment analysis into two parts: understanding the sentence and understanding the word. Understanding that they are not contradictory and instead, support each other, results in avenues where both paths are explored. From a document perspective, the study falls into the clustering area, whereas from words perspective, it is more associated with NLP (Siddiqui et al., 2019, Szarvas, 2008).

##### 4.1. Vader Sentiment

A SentimentAnalyzer is a tool that is used to implement and facilitate sentiment analysis tasks using NLTK (Natural Language Toolkit) features and classifiers, especially for teaching and demonstrative purposes, i.e., it is a weighted word analysis that uses Vader. Vader contains a list of 7,500 features weighted by how positive or negative they are. The software then uses these features to calculate how positive, negative, or neutral a passage is. It then combines these results to give a compound sentiment for the passage (higher = more positive).

Ten individuals trained on Twitter data and generally considered good at informal communication rated each feature in each tweet in context from -4 to +4.

- Calculates the sentiment in a sentence using word order analysis
- “Marginally good” will receive a lower positive score than “Extremely good”
- Computes a “compound” score based on heuristics (between -1 and +1)
- Includes sentiment of emoticons, punctuation, and other social media lexicon elements
- Within this study, three social media listening were made for the sake of customer satisfaction. The average was added as a new feature under column name “Compound”
- Twitter.com: 2,500 latest tweets with a compound score varying between -0.9 and 0.6
- Trustpilot.com: 1,500 records with a compound score varying between -0.7 and 0.5
- ConsumerAffairs.com: 1,000 records with a compound score varying between -0.8 and 0.5

##### 4.2. Repeating Process

To make it comparable, RandomForestClassifier, XGBClassifier, and GradientBoostingClassifier were pinned for the first run. This time, the XGBClassifier led with 0.89 accuracy and 0.58 recall scores. The second bullet refers to LinearRegression, which produced the best result, with 0.86 accuracy, and 0.61 recall. The third bullet honors the best model, LinearRegression, with AUC optimization favoring better recall by trading off the precision. As shown in Figure 5, this ensured that the number of wrong predictions was not exploited by smaller tolerances for further recall improvements. Efforts yielded almost 15% more compared to its predecessor. In summary:

- XGBClassifier, 0.50 Tolerance | Accuracy = 0.89 | Precision = 0.94 | Recall = 0.58
- Lin Regressor, 0.50 Tolerance (RMSE = 0.38) | Accuracy = 0.86 | Precision = 0.79 | Recall = 0.61
- Lin Regressor, 0.45 Tolerance (RMSE = 0.37) | Accuracy = 0.86 | Precision = 0.73 | Recall = 0.70

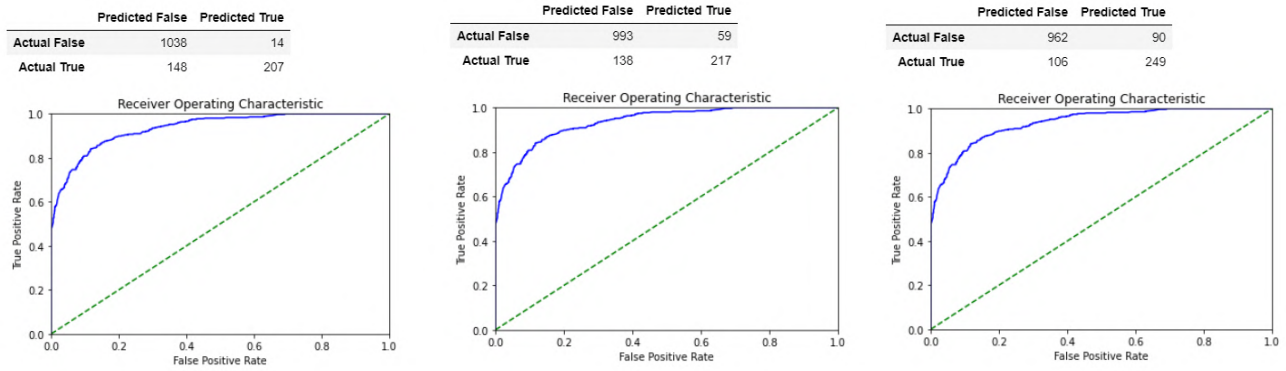


Figure 5. 1st Winning Model (left) vs. 2nd Winning Model (center) vs. AUC (right) w/ Compound score (Vader sentiment)

From a practicality perspective, around 75 people switched from missed churn numbers to the false alarm, where the latter is preferable. Additionally, around 40 people transferred to churn numbers so they may be over-treated, i.e., the model used will have approximately 30% fewer missed churn numbers and around five times as many false alarms, with approximately 20% penalized (safer from a royalty/churn management standpoint), thus yielding more churn numbers.

### 5. Optimization

The traditional winning path approach ignores both linear regression and recall performance, resulting in the worst results per churn estimation as well as missing churn numbers. Adding the incremental predictive power of customers' NLP yields two significant figures, as follows:

- Missed churn numbers decreased around 50%, from 196 to 106 customers
- Re-estimated churn numbers increased around 50%, from 176 to 249
- From a technicality standpoint, the whole tripartite was augmented from 8% to 50%
  - Accuracy = 0.80 | Precision = 0.68 | Recall = 0.47 (Traditional “winning” approach)
  - Accuracy = 0.86 | Precision = 0.73 | Recall = 0.70 (Nonconformist approach)

The important factors were drafted in accordance with the latest best performing model, as shown in Figure 6, where the “Compound” score dominated, followed by Contract\_Month\_to\_month with 0.17 scaled importance.



Figure 6. Important Factors

### 5.1 AML (Auto Machine Learning) Optimizations

The automated machine learning (AML) concept is noted for its optimized Omni-model environment as well as validation (of what was gathered) standpoint (Olson et al., 2016; Yao et al., 2018; Chen et al., 2021). AML works with several models, including Gradient Boosts, Naïve Bayes, Trees, Random Forest, Linear Regression, Gradient Descent Classifier, Logistic Models, Multinomials, as well as Support Vector Machine derivatives (H2O.ai, 2017; Drozdal et al., 2020). It further adjusts default parameters in a way to find the best split through cross-validation, finds the best algorithms, and optimizes the entire workflow except the decision points about how to trade-off. There have been a number of open-source attempts at AML

in both the open source and commercial arena, including the following in the former:

- auto-Weka is a Java library built on Weka
- auto-sklearn is a Python library that optimizes per Bayesian
- TPOT works with Python
- auto-keras is a Python library with powerful classification/regression models for structured data as well as images and texts
- H2O AutoML is developed using Java and works with Python, R, and Scala

Of these, H2O AutoML possesses three distinctive features, namely, it is explicit in terms of model names and flexible in terms of inclusions and exclusions, it provides a confusion matrix if applicable, and it proposes important factors (LeDell, 2018; Lee et al., 2019; Gursakal et al., 2021). More specifically, H2O AutoML requires only two data and two stopping parameters, whereas it handles a total of 27 parameters to burst

user control (Miner et al., 2012; Wang et al., 2019; Blohm et al., 2020).

From a comparability perspective, the same training and test split were applied with 80% and 20% respectively. The combined, classifiers as well as regressors, results is tabulated as below.

Table 1. Combined results with AML

model_id	auc	logloss	aucpr	mean_per_class_error	rmse	mse
GBM_grid__1_AutoML_20210124_192217_model_5	0.937224	0.264585	0.879735	0.15721	0.28703	0.082386
GLM_5_AutoML_20210124_192217					0.287724	0.0827849
StackedEnsemble_AllModels_AutoML_20210124_192217					0.290865	0.0846027
StackedEnsemble_BestOfFamily_AutoML_20210124_192217	0.93569	0.279556	0.879069	0.149809	0.291073	0.0847233
GBM_1_AutoML_20210124_192217	0.934744	0.27194	0.877003	0.157487	0.288882	0.083453
GBM_2_AutoML_20210124_192217	0.933587	0.273209	0.875652	0.15773	0.289969	0.0840819
GBM_3_AutoML_20210124_192217	0.932083	0.276879	0.872136	0.157011	0.292782	0.0857214
GBM_grid__1_AutoML_20210124_192217_model_3	0.930889	0.283341	0.869795	0.172086	0.296791	0.0880849
GBM_4_AutoML_20210124_192217	0.929928	0.28163	0.871707	0.158404	0.29284	0.0857552
GBM_grid__1_AutoML_20210124_192217_model_2	0.929639	0.287839	0.868668	0.158851	0.297383	0.0884364

Although the last winning model is classifier version of GBM, it is notable that it is challenged by regressors, not only by pur regressors as GLM, but also the regressor version of the StackedEnsemble. With cross-validation added to the process, K-fold 5 generated accuracies varying between 0.86 and 0.90. To mitigate the overfitting odds, its mode (0.89) was accepted, where the confusion matrix-based results follow as in Table 2.

Table 2. Confusion Matrix with AML Optimization

	Predicted False	Predicted True
Actual False	966	82
Actual True	85	274
Total	1051	356

Overall comparison to the previous model can be summarized as:

- GB Classifier, 0.43 Tolerance (RMSE = 0.29) | Accuracy = 0.89 | Precision = 0.77 | Recall = 0.78
- Missed churn numbers decreased around 20%, from 106 to 86 customers
- Re-estimated churn numbers increased around 10%, from 249 to 274
- From a technicality standpoint, the whole tripartite was augmented up to 50%
  - Accuracy = 0.86 | Precision = 0.73 | Recall = 0.70
  - Accuracy = 0.89 | Precision = 0.77 | Recall = 0.78

### 5.2. Lift Optimizations

As examined earlier, gains/lift table do not produce useful knowledge for churn prediction. However, mega mobile operators with over 100 million subscribers will statistically have over 1 million data subjects to churn and therefore, may

want to work with deciles (10 quantiles) data, as shown in Figure 7. Scores generated for testing stated the average response rate as 25.36% and average score as 26.48%. Fifteen partitions were led by 99% AUC, which is 7% more than the 93% AUC average.

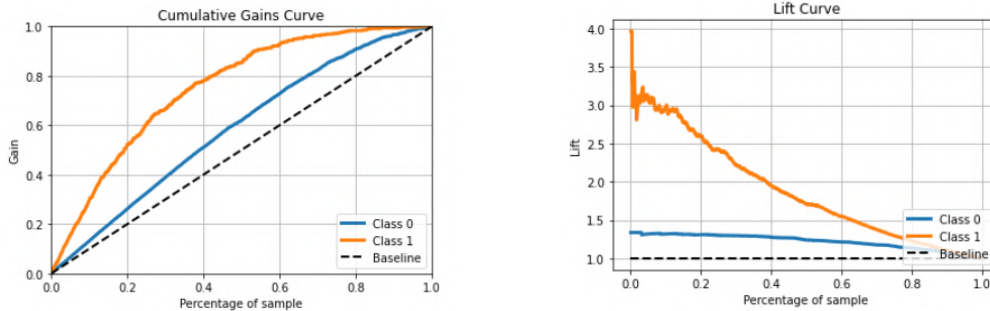


Figure 7. Curves for Gain and Lift

## 6. Discussions

This study introduces frontier ideas by placing inceptions within typical stages of churn prediction. As part of the study, four proposals were generated and applied, and the winning model was challenged with double-digit improvement in each aspect of the classification performance tripartite, namely accuracy, precision, and recall. The proposals and outcomes of the study were as follows:

- As per the “high-level” application of datasets, as per KDD, utilization of probabilities instead of traditional binary classification may help call center agents ensure customer satisfaction through real-time decision-making over the phone.
- With probability-like figures, the implicit bias was scrutinized and classification problems in churn prediction were challenged using regressors. Consequently, it was found that

regressors could be an option as well as a leader model, with 11% more recall performance and 1 point more inaccuracy.

- AUC optimization was revisited. As per churn’s Type-I receptive (unlike spam email detection) nature, bursting the “false alarm” by trading off with the false negative yielded 45% tolerance, which resulted from 12% more recall performance without compromising accuracy.
- Although feature engineering with NLP is not unknown, it is rare from a practitioner’s perspective. Thus, Vader sentiment dynamics were used to attempt making customer feedback a part of features. This is different and more useful than knowing who will churn in binary, since 0.51 cannot yield 0.99. Having a large spectrum of products and services can address a variety of compartments for probabilities between 0 and 1, allowing five to seven categories to be created, allowing agents to help customers. This is also vital from a royalty management perspective. Summary of scores can be found below:

Table 3. Cumulative comparison

Occasion	Winning Model	Accuracy	Precision	Recall	F1	RMSE
Base [Classifiers]	Gradient Boosting	0.8	0.68	0.47	0.56	
Challenge [Regressors]	Linear Regression	0.81	0.65	0.52	0.58	0.44
	Linear Regression*	0.8	0.61	0.58	0.59	0.45
Compound-Vader [All]	Linear Regression	0.86	0.79	0.61	0.69	0.38
	Linear Regression*	0.86	0.73	0.7	0.71	0.37
AML Optimization [All]	Gradient Boosting*	0.89	0.77	0.78	0.77	0.29
Performance		11%	13%	<b>66%</b>	39%	52%

\*Recall-favoring version of winning models



Churn prediction does not indicate survival. All the degrees in this business question are important. In other words, churn prediction requires more than binary decisions (Data Science, 2020; Fan et al., 2006; Lee et al., 2010) The findings of this churn prediction journey can be summarized in the following four hypotheses:

1. Respecting graduality (probabilities rather than 0 and 1) in classifiers improves the churn model
2. Being more receptive in model bias, including regressors, validates the churn model

3. Favoring recall performance improves the churn model
4. Working with customer feedback to predict customer churn improves the churn model

Figure 8 demonstrates the important factors from a practicality perspective in an app as presented through the Streamlit library. Future studies can examine a larger number of applications and intrusions in linear regressions for churn prediction.

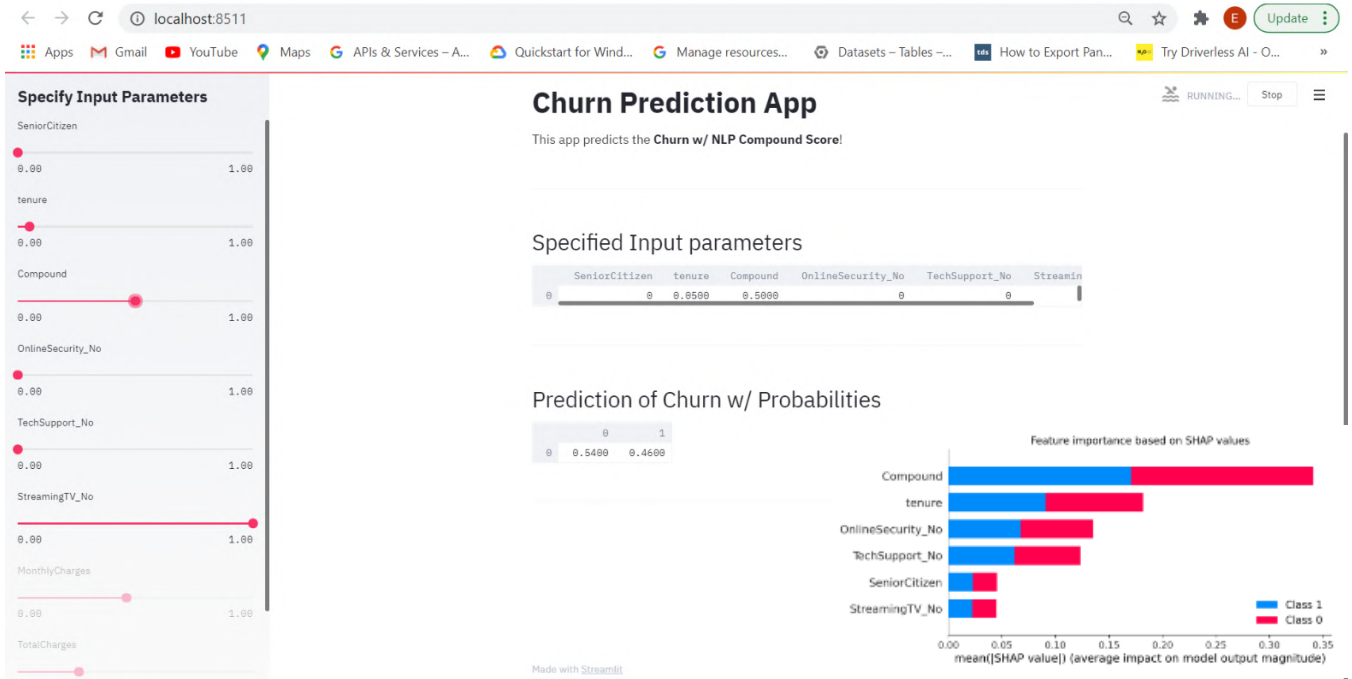


Figure 8. Probability-based Churn Predictor in Production with Streamlit

## Future Directions

Unlike the dichotomy in literature, regressors can make a winning model (or significantly challenge it) with churn predictions. However, traditionally, especially the linear regressors are being criticized by favoring multicollinearity. That could be one of the reasons that competitors do not explicitly mention about any inclusion of it, since, unlike the version we practiced here with 21, the original data has 230 labels.

In our case, after eliminating labels with non-significant t-values, only 6 factors were identified and combinations favoring an acceptable condition number (<100) was not a challenge.

On the other hand, the nature of churn predictions might prevent us to revisit the labels anyways, since, as shown on Figure 6, the vast majority factors are being blatantly dominated by the “Compound” label, a.k.a. text sentiment analysis for customer complaints. In other words, it seems that customers are not tacit with what they think, listening to them and grading what they say might be enough to make decisions.

To sum, more research for possible effects of multicollinearity on churn predictions with big data is highly encouraged.

## References

Amaral, R. P. F., Ribeiro, M. V., & de Aguiar, E. P. (2019). Type-1 and singleton fuzzy logic system trained by a fast scaled conjugate gradient methods for dealing with binary classification problems. *Neurocomputing*, 355, 57-70.

Au, W. H., Chan, K. C., & Yao, X. (2003). A novel evolutionary data mining algorithm with applications to churn prediction. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 7(6), 532-545.

Bell, A., Ward, P., Tamal, M. E. H., & Killilea, M. (2019). Assessing recall bias and measurement error in high-frequency social data collection for human-environment research. *Population and Environment*, 40(3), 325-345.

Blohm, M., Hanussek, M., & Kintz, M. (2020). Leveraging Automated Machine Learning for Text Classification: Evaluation of AutoML Tools and Comparison with Human Performance. *arXiv preprint arXiv:2012.03575*.

- Chen, Y. W., Song, Q., & Hu, X. (2021). Techniques for automated machine learning. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 22(2), 35–50.
- Chen, Y., Shao, Y., Yan, J., Yuan, T. F., Qu, Y., Lee, E., & Wang, S. (2017). A feature-free 30-disease pathological brain detection system by linear regression classifier. *CNS & Neurological Disorders-Drug Targets (Formerly Current Drug Targets-CNS & Neurological Disorders)*, 16(1), 5-10.
- Data Science, ADS, Text Mining, Page 1, Columbia University Engineering School & Emeritus.
- Drozdal, J., Weisz, J., Wang, D., Dass, G., Yao, B., Zhao, C., ... & Su, H. (2020, March). Trust in automl: Exploring information needs for establishing trust in automated machine learning systems. In *Proceedings of the 25th International Conference on Intelligent User Interfaces*. 297–307.
- Fan, W., Wallace, L., Rich, S., & Zhang, Z. (2006). Tapping the power of text mining. *Communications of the ACM*, 49(9), 76–82.
- Fayyad, Piatetsky-Shapiro, & Smyth. (1996). From Data Mining to Knowledge Discovery: An Overview, in Fayyad, Piatetsky-Shapiro, Smyth, & Uthurusamy, *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*. AAAI Press / MIT Press. 1–34.
- Gürsakal, N. , Gürsakal, S. & Çelik, S. (2021). Big Data Companies and Open Source Movement . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (21) , 680-689 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat/issue/59648/822219>
- H2O.ai, H2O AutoML. (2017). <http://docs.h2o.ai/h2o/latest-stable/h2o-docs/automl.html>. H2O version 3.30.0.1.
- Huang, B., Kechadi, M. T., & Buckley, B. (2012). Customer churn prediction in telecommunications. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 1414–1425.
- Kabasakal, İ . (2020). Customer Segmentation Based On Recency Frequency Monetary Model: A Case Study in E-Retailing . *Bilişim Teknolojileri Dergisi* , 13 (1) , 47-56 . DOI: 10.17671/gazibtd.570866
- Karahoca, A., Karahoca, D., & Aydin, N. (2007). GSM Churn Management Using an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. The 2007 International Conference on Intelligent Pervasive Computing (IPC 2007), 323-326.
- KDD (2018). KDD Cup 2009: Customer relationship prediction. <https://www.kdd.org/kdd-cup/view/kdd-cup-2009>
- Lango,M.(2019).Tackling the Problem of Class Imbalance in Multi-class Sentiment Classification: An Experimental Study. *Foundations of Computing and Decision Sciences*,44(2) 151-178. <https://doi.org/10.2478/fcds-2019-0009>
- LeDell, E. (2018). The different flavors of AutoML. <https://www.h2o.ai/blog/the-different-flavors-of-automl/>
- Lee, D. J. L., Macke, S., Xin, D., Lee, A., Huang, S., & Parameswaran, A. G. (2019). A Human-in-the-loop Perspective on AutoML: Milestones and the Road Ahead. *IEEE Data Eng. Bull.*, 42(2), 59–70.
- Lee, S., Song, J., & Kim, Y. (2010). An empirical comparison of four text mining methods. *Journal of Computer Information Systems*, 51(1), 1–10.
- Lu, N., Lin, H., Lu, J., & Zhang, G. (2012). A customer churn prediction model in telecom industry using boosting. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), 1659–1665.
- Miner, G., Delen, D., Elder, J., Fast, A., Hill, T., & Nisbet, R. (2012). The seven practice areas of text analytics. In *Practical text mining and statistical analysis for non-structured text data applications*. 29–41.
- Niculescu-Mizil, A., Perlich, C., Swirszcz, G., Sindhvani, V., Liu, Y., Melville, P., Wang, D., Xiao, J., Hu, J., Singh, M., Shang, W., Zhu, Y. (2009). Winning the KDD cup orange challenge with ensemble selection. *The 2009 Knowledge Discovery in Data Competition*. 23–34.
- Olson, R. S., Bartley, N., Urbanowicz, R. J., & Moore, J. H. (2016, July). Evaluation of a tree-based pipeline optimization tool for automating data science. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*. 485–492.
- Özmen, M , Delice, Y , Kızılkaya Aydoğan, E . (2018). Telekomünikasyon Sektöründe PSO ile Müşteri Bölümlemesi . *Bilişim Teknolojileri Dergisi* , 11 (2) , 163-173 . DOI: 10.17671/gazibtd.368460
- Peng, Y., Kou, G., Shi, Y., & Chen, Z. (2008). A descriptive framework for the field of data mining and knowledge discovery. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 7(04), 639–682.
- Rajbahadur, G. K., Wang, S., Kamei, Y., & Hassan, A. E. (2017, May). The impact of using regression models to build defect classifiers. In *2017 IEEE/ACM 14th International Conference on Mining Software Repositories (MSR)* (pp. 135-145). IEEE.
- Sedgwick, P. (2012). What is recall bias?. *BMJ*, 344.
- Siddiqui, S., Rehman, M. A., Doudpota, S. M., & Waqas, A. (2019). Ontology driven feature engineering for opinion mining. *IEEE Access*, 7, 67392-67401.
- Szarvas, G. (2008). Feature engineering for domain independent named entity recognition and biomedical text mining applications. University of Szeged, Szeged.
- Vannucci, M., & Colla, V. (2011). Novel classification method for sensitive problems and uneven datasets based on neural networks and fuzzy logic. *Applied Soft Computing*, 11(2), 2383-2390.
- Wang, C., & Wu, Q. (2019). Flo: Fast and lightweight hyperparameter optimization for automl. *arXiv preprint arXiv:1911.04706*.
- Xiao, J., Jiang, X., He, C., & Teng, G. (2016). Churn prediction in customer relationship management via GMDH-based multiple classifiers ensemble. *IEEE Intelligent Systems*, 31(2), 37–44.
- Yao, Q., Wang, M., Chen, Y., Dai, W., Li, Y. F., Tu, W. W., ... & Yu, Y. (2018). Taking human out of learning applications: A survey on automated machine learning. *arXiv preprint arXiv:1810.13306*.

# The Positive Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Wheat Growth and Physiology under Drought Conditions

Ilkay Yavas<sup>1\*</sup>, Yelda Emek<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Aydın Adnan Menderes University, Kocarlı Vocational School, Department of Plant and Animal Production, Aydın, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6863-9631), [iyavas@adu.edu.tr](mailto:iyavas@adu.edu.tr)

<sup>2</sup> Aydın Adnan Menderes University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Biotechnology, Aydın, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1095-3908), [yelda@adu.edu.tr](mailto:yelda@adu.edu.tr)

(First received 29 September 2021 and in final form 20 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1002430)

**ATIF/REFERENCE:** Yavas, I. & Emek, Y. (2021). The Positive Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Wheat Growth and Physiology under Drought Conditions. *European Journal of Science and Technology*, (31), 409-419.

## Abstract

Drought is one of the most important environmental stresses threatening wheat yield in the world. With global climate change, it is predicted that the precipitation regime will change and dry periods will increase. The use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) increases drought tolerance in wheat, affecting the physiological and biochemical properties of the plant and may increase yield. An experiment was conducted to examine the effects of nine different AMF, *Glomus intraradices*, *Glomus aggregatum*, *Glomus mosseage*, *Glomus clarum*, *Glomus monosporus*, *Glomus deserticola*, *Glomus brasilianum*, *Glomus tunicatum*, *Gigaspora margarita* on growth and physiology of wheat (*Triticum aestivum* L.) subjected to different water statuses. The seeds were sown in pots containing peat were placed in field. When the results of the study were evaluated, all traits were significantly affected by AMF application in dry conditions, except the leaf area. The highest values of plant height, root length, shoot and root dry weight were obtained by application of T3+AMF4. Shoot fresh weight, SPAD and relative water content reached the highest values under control conditions with the highest water (200 ml). The Fv / Fm value gave better results in pots at T4+AMF1. Root fresh weight and leaf area also increased with increasing water dose, and application of AMF to both seed and root gave the best results. The highest lipid peroxidation level in leaves was obtained from T1 + AMF4 application. In addition, it was observed that the proline and flavonoid content in both leaves and roots increased with AMF application in arid conditions.

**Keywords:** Arbuscular mycorrhizal fungi, Wheat, Fv / Fm, Chlorophyll, Drought, Stomata.

## Arbusküler Mikorizal Fungusların Kurak Koşullarda Buğdayın Büyümesi ve Fizyolojisine Olumlu Etkisi

### Öz

Kuraklık, dünyada buğday verimini tehdit eden en önemli çevresel streslerden biridir. Küresel iklim değişikliği ile yağış rejiminin değişeceği ve kurak dönemlerin artacağı öngörülmektedir. Arbusküler mikorizal fungusların (AMF) kullanımı, buğdayda kuraklık toleransını artırarak bitkinin fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerini etkilemekte ve verimi artırmaktadır. Farklı su dozlarına maruz bırakılan buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkilerinin büyümesi ve fizyolojisi üzerine *Glomus intraradices*, *Glomus aggregatum*, *Glomus mosseage*, *Glomus clarum*, *Glomus monosporus*, *Glomus deserticola*, *Glomus brasilianum*, *Glomus tunicatum* ve *Gigaspora margarita* dokuz farklı AMF'nin etkilerini incelemek için çalışma yürütülmüştür. Torf içeren saksılara ekilen tohumlar tarlaya yerleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde, kuru koşullarda AMF uygulamasından yaprak alanı hariç tüm özellikler önemli ölçüde etkilenmiştir. Bitki boyu, kök uzunluğu, sürgün ve kök kuru ağırlığının en yüksek değerleri T3+AMF4 uygulaması ile elde edilmiştir. Sürgün taze ağırlık, SPAD ve bağıl su içeriği, en yüksek su (200 ml) ile kontrol koşullarında en yüksek değerlere ulaşmıştır. Fv / Fm değeri T4+AMF1'de potalarda daha iyi sonuç vermiştir. Artan su dozu ile kök taze ağırlığı ve yaprak alanı da artmış ve hem tohuma hem de köke AMF uygulaması en iyi sonuçları vermiştir. Yapraklarda en yüksek lipid peroksidasyon düzeyi T1+AMF4 uygulamasından elde edilmiştir. Ayrıca kurak koşullarda AMF uygulaması ile hem yapraklarda hem de köklerde prolin ve flavonoid içeriğinin arttığı gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Arbusküler mikorizal fungus, Buğday, Fv / Fm, Klorofil, Kuraklık, Stoma.

\* Corresponding Author: [iyavas@adu.edu.tr](mailto:iyavas@adu.edu.tr)

## 1. Introduction

### 1.1. Drought

Plants are frequently exposed to different environmental stresses that negatively influence growth, development and yield. Drought stress in the world is one of the most important constraints of plant growth and productivity (Al-Karaki et al., 2004). With the increase in climate change, it is expected that the arid areas will increase even more. In the last 35 years, there has been a 40% decrease in corn and a 21% decrease in wheat due to drought worldwide (Daryanto et al., 2016).

Drought stress affects plant life in many ways, such as creating a lack of water in the roots, reducing the transpiration rate, and causing oxidative stress (Impa et al., 2012; Hasanuzzaman et al., 2013). Drought stress also causes detrimental effects on plant growth by affecting enzyme activity, ion uptake and nutrient assimilation (Ahanger and Agarwal, 2017; Ahanger et al., 2017).

Drought stress damages the electron transport system in photosynthesis and causes oxidative stress. In addition, it has negative effects on mineral uptake and osmotic adjustment as a result of dehydration in plants. Therefore, it is necessary to improve the drought tolerance of plants in order to increase plant growth and survival in arid and semi-arid regions (Tuo et al., 2017).

The main effect of drought on plant development is related to the permeability of the membranes and the change in active transport and the restriction of water and nutrient intake due to a decrease in the transpiration rate. As a result of the decrease in water content in the soil, stomata are closed in plants and photosynthesis decreases (Pavithra and Yapa, 2018). In many semi-arid regions of the world, inefficient phosphorus content in soils limit plant yield.

Mycorrhizal relationship with plant roots not only increases growth and nutrient uptake but also provides more drought resistance by causing more effective phosphorus uptake in phosphorus-deficient soils (Al-Karaki and Al-Raddad, 1997).

Drought causes a decrease in transpiration rate, stomatal conductivity and an increase in the abscisic acid ratio (ABA). The rate of photosynthesis is negatively affected by the closure of the stomata, membrane damage, especially the enzymes involved in ATP synthesis. Acting as major osmoprotectants, proline, glycine betaine, fructans, trehalose, and polyols accumulate at high levels to maintain cell turgor pressure and normal physiological activities (Duc, 2017).

In case of lack of water, the stomata close with the reduction of CO<sub>2</sub> intake. Severe drought stress affects plant physiology and growth, causing significant losses in yield and decreasing quality (Posta and Duc, 2020).

### 1.2. Arbuscular Mycorrhizal Fungus (AMF)

Mycorrhiza is the name given to a group of soil fungi called arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) that live in common with the roots of some plants. AMF takes carbohydrates from the host plant, while the plant provides more water and mineral substances through the symbiotic relationship. Mycorrhizal association increases the plant nutrients, water content, plant growth and reproductive capacity and also increases the

resistance of the plant against environmental problems (Abdelmoneim et al., 2014; Duc, 2017).

The symbiotic relationship between AMF and the roots of higher plants is quite common in nature. Some ecophysiological studies show that AMF association in arid conditions is an important factor in coping with stress (Rapparini and Peñuelas, 2014).

Arbuscular mycorrhizal fungi are in symbiotic relationship with the roots of 80% of terrestrial plant species and are the most common fungi in the soil. It constitutes 5-36% of total soil biomass and 9-55% of soil microorganism biomass (Olsson et al., 1999).

Drought reduces grain yield, tillering, leaf growth, transpiration, photosynthesis, water and nutrient intake. AMF association against environmental stress factors increases the water and nutrient content of the host plant. AMF allows plants to retain their water content by closing their stomata. Osmotic regulation leads to significant changes in plant physiology such as gas exchange (CO<sub>2</sub> ↔ O<sub>2</sub>), photosynthesis and leaf relative water content. AMF improves the harmful effects of drought stress by preventing the overproduction of ROS (Fouad et al., 2014; Huang et al., 2017).

Most of the studies on the effect of AMFs on plants under arid conditions indicate that it increases the performance of plants. However, the studies conducted are on the effect of drought in the short term (7-14) before harvest (Neumann and George, 2009). AMF positively affected drought tolerance in tomatoes by increasing water use efficiency in arid conditions. Under severe water stress (-1.3 MPa) AMF application to tomato significantly reduced ABA levels in roots and leaves. This is because plants that do not apply AMF are exposed to more intense drought stress and produce more ABA (Chitarra et al., 2016).

*Geochelone gigantea* promotes the growth of some plants such as corn, soybean, carrot and grape by living symbiotic life with plant roots and plays an important ecological role by contributing significantly to plant nutrition (Olawuyi et al., 2014).

The symbiotic relationship between AMF and plants is one of the adaptations that plants develop in coping with water stress by enhancing their drought response and plant water relations. In addition, AMF also reduces groundwater pollution by reducing the use of chemical fertilizers and removing contaminants from soil and irrigation water (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004; Olawuyi et al., 2014; Sharma et al., 2017; Pavithra and Yapa, 2018).

Water deficiency is an important abiotic stress factor that increasingly limits plant growth and yield due to climate change (Aliasgharad et al., 2006; Sharma et al., 2017). Previous studies (Allen, 1982; Hardie, 1985) highlight the possible roles of AMFs in water uptake and transport to the host plant.

Corn treated with AMF showed higher drought tolerance and better plant growth (Olawuyi et al., 2014). It is observed that barley treated with vesicular arbuscular mycorrhizal fungi (VAM) cause high root colonization 60 days after planting. In addition, it is revealed that there is 59 % root inoculation in VAM plants 60-78 days after planting. VAM association protects the host plants against the harmful effects of drought. The application of mycorrhizal fungi in drought stress conditions



increases the leaf water content and reduces the negative effects of drought stress (Budak et al., 2017).

Mycorrhizal inoculation with *Funneliformis mosseae* and *Pyrodictium occultum* significantly increased drought tolerance of maple through improvement in proline, soluble protein, flavonoid and nutrient intake. Seven weeks after the drought application, root colonization with *F. mosseae* and *P. occultum* decreased significantly. Higher root, shoot and total biomass production was observed in the grafted plants. AMF application in arid conditions caused significant accumulation of proline. AMF also significantly increased the growth and drought tolerance of *Trifolium repens* with better nutrient absorption and accumulation of soluble protein, proline and flavonoids (Tuo et al., 2017). AMF increased the growth, yield and drought tolerance of soybean plant under drought stress (Pavithra and Yapa, 2018).

Poplars inoculated with AMF grow better in drought stress conditions due to their higher Chl content, Chl fluorescence parameters and gas exchange capacity (Liu et al., 2015). In soybean exposed to drought, shoot biomass increased, whereas in plants inoculated with AMF, leaf water content, root and shoot proline content increased (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004). Mycorrhizal fungi and potassium application improve chlorophyll content, membrane stability, phosphatase activity and leaf protein content in black lentil (Sharma et al., 2017). In areas with limited water, the association of AMF positively affected corn growth. This beneficial effect of AMF is associated with lower lipid peroxidation, higher PSII activity and membrane stability (Quiroga et al., 2017).

Arbuscular mycorrhizal fungi increase the performance of the olive under drought conditions. AMF provides this by

increasing water absorption and nutrient uptake, as well as antioxidant enzyme activities responsible for ROS removal (Fouad et al., 2014). Symbiosis with AMF significantly increases nutrient intake of cowpea under drought stress, but does not affect water intake, plant growth, and photosynthesis (Neumann and George, 2009).

AMF application to rice in arid conditions positively affected chlorophyll fluorescence and Fv/Fm value (Ruiz-Sánchez et al., 2011). Inoculation with AMF was also effective in increasing production in arid conditions. Colonization of roots by AMF increases the productivity of plants under drought stress (Al-Karaki et al., 2004). The association of plants with AMF not only increases the growth of plants, but also provides mineral element uptake and drought resistance (Ruiz-Lozano et al., 1995). This study reveals that the adverse effects of drought conditions on wheat morphology, physiology and biochemical properties are alleviated by AMF application.

## 2. Material and Method

### 2.1. Experimental Details and Treatments

This study was carried out using Negev wheat (*Triticum aestivum* L.) variety in plastic pots with a capacity of 4.5 L (18.5 cm x 17.0 cm) in Aydin Adnan Menderes University, Koçarlı Vocational School research and application areas. Before placing peat in pots, all pots were washed with 0.1 % HCl and then washed with pure water and the peat was placed. There are two factors in the experiment as drought and AMF applications. Detailed information about these applications can be found in Table 1.

Table 1. Drought and AMF Applications

Drought Applications	AMF Applications
T1 – 50 ml water	A1 – Control (No AMF application)
T2 – 100 ml water	A2 – AMF application to root only
T3 – 150 ml water	A3 – AMF application to seed only
T4 – 200 ml water	A4 – AMF application both seed and root

For AMF 3 and AMF 4 applications, a total of 64 pots were planted with AMF coated seeds. For this, moistened seeds are covered with AMF with the help of natural glue, and then laid in a layer about 3 cm below the seed bed within 2 hours and covered with peat again. For AMF 2 and AMF 4 applications, AMF suspensions diluted at the recommended level were applied to the roots after emergence. AMF1, on the other hand, was evaluated as a control group that was not applied. At first 10-15 seeds were placed in each pot, but dilution was carried out in the period with 2-3 leaves. Before planting, 200 mg of 15-15-15 fertilizer per kg of dry soil was applied to the pots. In the experiment, seeds were sowed in each pot, then the surface of the pots was irrigated slightly (Yücel et al., 2009).

Commercial preparation containing nine different species of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus intraradices*, *G. aggregatum*, *G. clarum*, *G. monosporus*, *G. deserticola*, *G.*

*brasilianum*, *G. etunicatum*, *G. mosseae*, *Gigaspora margarita*), Endo Roots Soluble (ERS) (Biogobal Ltd.) were used.

The experiment was carried out in 128 pots with 4 replications according to the "Completely Randomized Design" with 2 factors. Eight weeks later, the plants were harvested at Zadoks development period 33 (Zadoks et al., 1974).

With the help of ProCheck Decagon Devices, soil humidifier, moisture levels were determined and irrigation was completed.

During the 21 days, all plants were watered daily with 100 ml of water. Applications were initiated 3 weeks after sowing to assess drought tolerance and sensitivity levels. After the twenty one days, 50 ml, 100 ml, 150 ml and 200 ml of water applications were carried out. No herbicides were used. Weed control was carried out manually.

## 2.2. Plant Analysis and Measurements

Eight weeks after the drought application, the plants were harvested, root and shoot fresh weights were determined. Root and shoot samples were stored in separate plastic bags at 4 °C until observations were made within 24 hours.

**Plant height (cm):** The plant heights were measured 8 weeks after the application of drought stress and stated in cm.

**Root length (cm):** The root lengths were measured 8 weeks after the application of drought stress and stated in cm.

**Relative water content:** Three leaf samples were taken from the middle parts of the leaves from the plants selected at the end of the eighth week, and their wet weights were measured. These leaves were kept in distilled water in petri dishes for 6 hours to become turgor and their turgor weights were measured. Dry weight was determined after drying in the oven at 70 °C for 72 hours. The relative water content of leaf samples of each group was calculated in % according to the formula below (Barr and Weatherley, 1962);

$$RWC(\%) = [(WW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$

RWC= Relative Water Content; WW = Wet Weight; DW = Dry Weight; TW = Turgor Weight

**SPAD value:** Measured with SPAD 502 device after application of drought stress.

**Shoot fresh weight (SFW) (g):** The weight of 10 seedlings of shoots was recorded and stated in g.

**Shoot dry weight (SDW) (g):** The weight of 10 seedlings shoots was recorded and oven drying at 75 °C at 48 h.

**Root fresh weight (RFW) (g):** The weight of 10 seedlings of roots was recorded and stated in g.

**Root dry weight (RDW) (g):** The weight of 10 seedlings of roots was recorded and oven drying at 75 °C at 48 h.

**Photosynthetic yield (chlorophyll fluorescence) (Fv/Fm):** Measurements were carried out in 4 replications before harvest. Firstly, the upper surfaces of the middle parts of the leaves were covered for 30 minutes. Variable fluorescence / Maximum fluorescence induction (Fv / Fm) ratio was determined with the aid of Hansatech Pocket Pea Chlorophyll Fluorimeter.

**Leaf area (cm<sup>2</sup>):** It was measured 8 weeks after the application of drought stress.

**Proline content in the leaf:** At the end of eight weeks, the amount of proline in the leaves was determined by taking samples from the middle parts of the leaves and using the ninhydrin method determined by Bates et al. (1973) at 520 nm spectrophotometrically with two replicates. Leaf samples were weighed at 0.5 g, then frozen quickly with liquid nitrogen and stored under cold conditions. The amount of proline was determined on the standard chart as mg.gFW<sup>-1</sup>.

**Proline content in root:** At the end of eight weeks, the amount of proline in the root was measured using the ninhydrin method of Bates et al. (1973) at 520 nm spectrophotometrically in two replicates. After the harvested roots were washed and cleared from the soil, they were weighed at 0.25 g, quickly frozen with liquid nitrogen and stored under cold conditions. The amount of proline was determined on the standard chart as mg.gFW<sup>-1</sup>.

**Flavonoid content in root:** Total flavonoid content in the root was determined spectrophotometrically at 510 nm according to Dewanto et al. (2002), which was based on aluminum trichloride method, with two replications. It was determined using 0.1 g of root from post-harvest shade-dried plants. The plant material was sieved after being powdered with a grinder. Results were calculated in quercetin equivalents using the quercetin calibration curve. It is reported by taking the average of the results.

**Flavonoid content in the leaf:** Total flavonoid content in the leaf was determined to be two replicates at 510 nm spectrophotometrically according to Dewanto et al. (2002) based on aluminum trichloride method. To determine the flavonoid content, 0.5 g of shade dried leaves were used. The plant was powdered with a material grinder and then sieved. Results were calculated in quercetin equivalents using the quercetin calibration curve. It is reported by taking the average of the results.

**Lipid peroxidation level in leaves:** Determination of lipid peroxidation level is based on the spectrophotometric determination of malondialdehyde (MDA), which occurs as a result of oxidative damage, by using thiobarbituric acid (TBA) reagent. The resulting MDA was determined spectrophotometrically using the method developed by Cakmak and Horst (1991), which is based on the formation of a colored complex with TBA. The spectrophotometric absorbances of the samples were determined at 532 nm and 600 nm. Malondialdehyde concentration (as µM) was calculated using the extinction coefficient (155 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>).

## 2.3. Statistical analysis

All the data were statistically analyzed with analysis of variance (ANOVA) procedures using the SPSS software (SPSS Inc.,1999).

The differences between the means were compared by the least significant difference by employing the LSD Test (p≤0.05). Regarding the proline, flavonoid and lipid peroxidation amounts, the averages of the data obtained were calculated using the SPSS 16.0 program. Differences were tested with one-way analysis of variance (ANOVA) and compared with Duncan Multiple Ratio Test at 0.05 significance level.

## 3. Results and Discussions

### 3.1. Plant Morphological Properties

**Plant height and root length:** The highest plant heights were obtained from T4+AMF3 (80.01 cm), T3+AMF3 (78.02 cm), T4+AMF4 (76.01 cm) and T3+AMF4 (73.89 cm) applications, respectively. This result shows that the AMF application method may change depending on the drought. The lowest data (52.05 cm) was obtained from pots not treated with AMF at 50 ml water conditions. Maximum root length values were obtained from 150 ml water application. This was followed by T4, T2 and T1 water applications, respectively. The shortest root length was obtained from pots without AMF under low water conditions. Among the AMF applications, the highest value was observed in the AMF3 application at different water amounts. T1 and T2 water doses and AMF2 showed similar results (Table 2).

Table 2. Effect of AMF on plant height and root length of wheat plants grown different water concentrations

AMF Treatment	Water Treatment	Plant Height (cm)	Root Length (cm)
AMF1	T1	52.05 dD	9.93 dD
	T2	55.12 dC	10.93 dC
	T3	58.10 dB	12.48 dB
	T4	61.96 dA	12.72 dA
AMF2	T1	59.14 cD	12.93 cC
	T2	61.02 cC	13.11 cC
	T3	64.77 cB	15.93 cB
	T4	69.97 cA	16.37 cA
AMF3	T1	66.87 aD	16.75 aD
	T2	69.16 aC	17.68 aC
	T3	78.02 aB	18.96 aB
	T4	80.01 aA	20.17 aA
AMF4	T1	66.03 bD	15.80 bD
	T2	68.09 bC	16.49 bC
	T3	73.89 bA	17.74 bB
	T4	76.01 bB	18.86 bA
Water treatment (A)		**	**
AMF treatment (B)		**	**
Water treatment x AMF (AxB)		**	**
LSD (AxB):		0.45	0.21

The sources of variance were as follows: four water treatments, four AMF applications and interaction between water treatment and AMF. Different lower case letters in the same line indicate that the difference between AMF under water treatments and different capital letters indicate that the difference between water doses are significant. Least significant difference (LSD) of the Water Treatment x AMF interaction \*\*, significant at 1% levels of probability.

This is in agreement with a study showing that when the effects of eight AMF species (*Gigaspora margarita*, *Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus irregularis*, *G. clarum*, *G. deserticola*, *G. monosporum*, *G. brasilianum*, *G. aggregatum*) on wheat and legume plants are examined, root biomass, root length, P, Fe and Zn intake has a positive effect on wheat, but the same effect is not observed in legumes (Ingraffia et al., 2019). In addition, in another study, *Glomus mosseae* application to maize under drought conditions positively affected root weight, plant height, stem length, root length, plant fresh weight, shoot dry weight, root/shoot ratio, chlorophyll content, soluble protein, phosphorus has been reported (Abdelmoneim et al., 2014). The drought tolerant durum wheat genotype showed more mycorrhizal colonization under arid conditions than the drought sensitive genotype. Inoculation with AMF increased total root length and dry matter yield in plants. Although the roots of the drought-resistant genotype were more infected, the drought-sensitive genotype benefited more from AMF infection (Al-Karaki and Raddad, 1997). Inoculation with AMF is more important for plant growth in dry conditions than in wet conditions (Michelsen and Rosendahl, 1990). Mycorrhizal colonization with AMF is more in aqueous plants than in arid conditions. Therefore, inoculation with AMF in arid conditions

increased the growth, nutrient intake and yield of wheat plants (Al-Karaki et al., 2004).

**Leaf area:** In dry conditions the highest value was obtained from T4 application and the lowest value was obtained from T1 application. In AMF3 application leaf area gave the highest value (Table 3).

Table 3. Effect of AMF on leaf area of wheat plants grown different water concentrations

Leaf Area (cm <sup>2</sup> )	Water Treatment			
	T1	T2	T3	T4
	19.37 a	23.09 a	22.47 a	33.47 a
AMF	AMF1	AMF2	AMF3	AMF4
	17.25 b	19.96 ab	39.24 a	21.95 ab
Water treatment (A)		ns; LSD (A): 24.61		
AMF treatment (B)		ns; LSD (B): 21.96		
Water x AMF treatment (AxB)		ns		

The sources of variance were as follows: four water treatments, four AMF applications and interaction between water treatment and AMF. Different lower case letters in the same line indicate that the difference between AMF under water treatments are not significant. Least significant difference (LSD) of the Water Treatment x AMF interaction ns, not significant.

Unlike our results, it was determined that leaf area, nitrogen, phosphorus, potassium and calcium contents increased in tomatoes inoculated with AMF. Similarly, application of *Glomus deserticola* to *Antirrhinum majus* L. in drought conditions increased shoot and root diameter, shoot length, leaf area, number of leaves per plant, water content, chlorophyll and proline content (Asrar et al., 2012).

### 3.2. Yield Related Parameters

**Shoot fresh and dry weight and root dry weight:** Table 4 data showed that the highest shoot dry weight was obtained from T4+AMF3 application. This was followed by T3+AMF3 application with 10.13 g. At the lowest water dose the lowest shoot dry weight values were obtained from AMF2 application. In terms of root dry weight it was determined that water and AMF application significantly affected root dry weight. The highest root dry weight (0.98 g) was obtained from T4 + AMF3 application. This was followed by the T4+AMF4 application. The lowest value (0.630 g) was obtained from T1+AMF1 pots.

Similarly, under drought stress conditions, after the plants' association with AMF, the proline content in the leaf, photosynthesis, leaf area index, relative growth rate, fresh and dry weight of seeds increased (Pavitra and Yapa, 2018). Pedranzani et al. (2016) emphasized that inoculation of *Digitaria eriantha* with *Rhizophagus irregularis* increased shoot dry weight, stomatal conductivity, lipid peroxidation, and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> content in shoots and roots. Treatment of maize with *Rhizophagus intraradices* under arid conditions increased the N, P, K and Mg uptake in shoots and plant dry weight (Zhao et al., 2015). Inoculation of *Pelargonium graveolens* (Amiri et al., 2015) and *Robinia pseudoacacia* L. (Yang et al., 2014) with *Rhizophagus intraradices* and *Funneliformis mosseae* has been observed to increase biomass, water use efficiency and net



photosynthesis rate. Bernardo et al. (2019) stated that inoculation of *Triticum aestivum* and *Triticum durum* with *Funneliformis mosseae* under arid conditions significantly improved biomass in plants, increased water use efficiency, and reduced oxidative damage. Treatment of lettuce and tomato plants *Rhizophagus irregularis*, *Glomus intraradices* in arid conditions increased biomass production, photosystem II activity, ABA accumulation and synthesis, and strigolactone production has been reported (Ruiz-Lozano et al., 2015).

Boyer et al. (2014) reported that treatment of *Fragaria ananassa* plants with *F. mosseae* BEG25 and *F. geosporus* BEG11 in arid conditions increased shoot and root fresh weight and water use efficiency.

Table 4. Effect of AMF on shoot fresh and dry weight, root dry weight of wheat plants grown different water concentrations

AMF Treatment	Water Treatment	Shoot Fresh Weight (g)	Shoot Dry Weight (g)	Root Dry Weight (g)
AMF1	T1	10.35 dB	7.23 cC	0.63 bD
	T2	10.40 dB	7.63 bB	0.70 bC
	T3	11.14 dA	8.18 cA	0.74 cB
	T4	11.18 dA	8.37 dA	0.80 cA
AMF2	T1	11.19 cB	7.63 bD	0.68 aD
	T2	11.20 cB	7.89 aC	0.73 abC
	T3	13.82 cA	9.16 bB	0.78 bB
	T4	14.00 cA	9.77 cA	0.86 bA
AMF3	T1	12.99 bC	7.94 aC	0.68 aD
	T2	12.87 bC	8.10 aC	0.75 aC
	T3	15.13 bB	10.13 aB	0.88 aB
	T4	15.85 bA	10.62 aA	0.98 aA
AMF4	T1	14.03 aD	8.01 aB	0.65 abD
	T2	14.65 aC	8.02 aC	0.70 bC
	T3	16.01 aB	10.05 aA	0.86 aB
	T4	16.49 aA	10.03 aA	0.96 aA
Water treatment (A)		**	**	**
AMF treatment (B)		**	**	**
Water treatment x AMF (AxB)		**	**	**
		LSD <sub>(AxB)</sub> : 0.31	LSD <sub>(AxB)</sub> : 0.22	LSD <sub>(AxB)</sub> : 0.03

The sources of variance were as follows: four water treatments, four AMF applications and interaction between water treatment and AMF. Different lower case letters in the same line indicate that the difference between AMF under water treatments and different capital letters indicate that the difference between water doses are significant. Least significant difference (LSD) of the Water Treatment x AMF interaction \*\*, significant at 1% levels of probability.

**Root fresh weight:** When Table 5 is examined the highest root fresh weight was obtained in T4 conditions, while the lowest value was observed in T1 application. Among the AMF applications, AMF3 gave the best root fresh weight, while similar results were obtained in the AMF4 application.

Table 5. Effect of AMF on root fresh weight of wheat plants grown different water concentrations

Root Fresh Weight (g)	Water Treatment			
	T1	T2	T3	T4
	1.18 d	1.25 c	1.38 b	1.48 a
AMF				
	AMF1	AMF2	AMF3	AMF4
	1.21 c	1.28 b	1.50 a	1.30 b
Water treatment (A)		ns; LSD <sub>(A)</sub> :0.027		
AMF treatment (B)		ns; LSD <sub>(B)</sub> :0.029		
Water x AMF treatment (AxB)		ns		

The sources of variance were as follows: four water treatments, four AMF applications and interaction between water treatment and AMF. Different lower case letters in the same line indicate that the difference between water treatments and AMF are significant, respectively. Least significant difference (LSD) of the Water Treatment and AMF \*\*, significant at 1% levels of probability

Our results in Table 5 are consistent with the fact that under arid conditions *Glomus fasciculatum*, *Glomus intraradices* and *Glomus mosseae* fungi significantly affect leaf fresh weight, root fresh and dry weight of the seedless white currant grape cultivar (Aslanpour et al., 2019). According to Metwally et al. (2019), the fresh and dry weights of mycorrhizal plants increased significantly than non-mycorrhizal plants. Behrooz et al. (2019) suggest that AMF improve walnut fresh weight. Previous report indicated that drought stress reduced the total fresh weight in barley, but this reduction occurred by a lesser extent in fungal treatments (*Funneliformis mosseae* and *Rhizophagus irregularis*) (Ehsan Mahdavi et al., 2018).

### 3.3. Plant Physiological Properties

**SPAD and Relative Water Content:** As the water dose increased, the SPAD value increased in wheat (Table 6). At T1 and T2 water doses, AMF2 application gave similar results. The highest SPAD value was obtained from the plants treated with T4+AMF4, followed by T3+AMF4. Results of studies on drought stress showed that plant biomass, chlorophyll content and transpiration rate were higher in plants inoculated with AMF than in control conditions.

The application of different amounts of water and AMF significantly affected the relative water content. It was observed that the application of AMF4 to wheat affected the relative water content positively, and this effect was more pronounced especially in T3 and T4 water applications. In the low water application, the highest value was obtained from the AMF3 application (Table 6).

Likewise, under water deficiency conditions, the association of wheat with *Glomus mosseae* increased osmotic potential, chlorophyll content, antioxidant enzyme activity, N, P and K content (Rani, 2016). The symbiotic relationship with AMF delayed leaf aging in alfalfa under drought conditions (Abdelmoneim et al., 2014). Similar results were reported by Pal and Pandey (2016) that plants treated with *Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum* and *Gigaspora decipiens* under drought



stress increased growth parameters and total chlorophyll content. Under water stress conditions, the combination of arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum* and wheat increased the total dry weight, relative moisture content and leaf chlorophyll content (Beltrano and Ronco, 2008). Mathur and Vyas (2000) emphasized that arbuscular mycorrhizal root colonization increases the amount of photosynthesis and chlorophyll synthesis associated with plant growth.

Table 6. Effect of AMF on SPAD and relative water content of wheat plants grown different water concentrations

AMF Treatment	Water Treatment	SPAD	Relative Water Content (%)
AMF1	T1	19.01 cC	65.00 dD
	T2	29.73 cC	66.00 dC
	T3	29.86 cB	68.00 cB
	T4	30.78 dA	70.00 dA
AMF2	T1	19.86 bD	73.67 bD
	T2	30.03 cC	75.00 cC
	T3	21.19 dB	77.00 bB
	T4	32.17 cA	78.00 cA
AMF3	T1	20.94 aD	90.00 aD
	T2	36.70 aC	93.67 aC
	T3	37.67 bB	95.00 aB
	T4	38.08 bA	96.00 bA
AMF4	T1	20.99 aD	70.00 cD
	T2	35.66 bC	90.00 bC
	T3	39.00 aB	95.00 aB
	T4	40.93 aA	97.00 aA
Water treatment (A)		**	**
AMF treatment (B)		**	**
Water treatment x AMF (AxB)		**	**
		LSD (AxB):0.45	LSD (AxB): 0.21

The sources of variance were as follows: four water treatments, four AMF applications and interaction between water treatment and AMF. Different lower case letters in the same line indicate that the difference between AMF under water treatments and different capital letters indicate that the difference between water doses are significant. Least significant difference (LSD) of the Water Treatment x AMF interaction \*\*, significant at 1% levels of probability

The most important of these is that the symbiotic relationship with AMF increases drought tolerance (Augé, 2001; Ruiz-Lozano, 2003). Application of mycorrhizal fungus to *Borago officinalis* plant reduces the negative effects of drought stress by increasing the leaf water content (Budak et al., 2017). Earlier studies also suggest that the relationship of roots with AMF increases the drought resistance of wheat (Al-Karaki and Clark, 1998). Sánchez-Blanco et al. (2004) found that the decrease in water content in mycorrhizal relationships was lower under arid conditions.

A study conducted with *Anthyllis cytisoides* in arid conditions showed that mycorrhizal inoculation does not cause a change in relative water content (Goicoechea et al., 2005).

Drought is one of the important abiotic stresses affecting the growth, development and yield of plants. In dry conditions, there is a decrease in wilting, photosynthesis, stomatal conductivity, water use efficiency and relative water content in plants. In addition, it adversely affects the electron transport system, causing active oxygen formation and stomata closure, which causes a decrease in CO<sub>2</sub> uptake. As a result, due to ROS production, photosynthesis is adversely affected and secondary metabolites (isoprenoids, phenols or alkaloids) are synthesized (Ganugi et al., 2019). *Bacillus sp.*, *Klebsiella sp.*, *Acinetobacter sp.* and arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus intraradices* showed the ability to adapt to physiological parameters (relative water content and stomatal conductivity), increased photosynthetic pigments (chlorophyll and carotenoids) and improved antioxidant enzyme levels (catalase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase tolerance) (Durán et al., 2016). Therefore, it is evident that the mycorrhizal fungal association offers a number of benefits to the plants.

**Fv/Fm:** When water applications were evaluated, the highest Fv/Fm values were obtained from T4 and T3 applications, respectively. Among the AMF treatments, the lowest value was obtained under the control conditions, and the highest value was obtained from the pots treated with AMF4 (Table 7).

Table 7. Effect of AMF on Fv/Fm of wheat plants grown different water concentrations

Fv/Fm	Water treatment			
	T1	T2	T3	T4
	0.66 d	0.68 c	0.72 b	0.75 a
	AMF			
	AMF1	AMF2	AMF3	AMF4
	0.62 d	0.66 c	0.75 b	0.79 a
Water treatment (A)		ns; LSD (A):0.026		
AMF treatment (B)		ns; LSD (B):0.018		
Water x AMF treatment (AxB)		ns		

The sources of variance were as follows: four water treatments, four AMF applications and interaction between water treatment and AMF. Different lower case letters in the same line indicate that the difference between water treatments and AMF are significant, respectively. Least significant difference (LSD) of the Water Treatment and AMF \*\*, significant at 1% levels of probability.

**Proline content:** As the water dose increased, the amount of proline in the wheat leaves decreased. In terms of the amount of proline in the leaf, the highest value was obtained from T1+AMF4 application. This was followed by plants treated with T2+AMF4. The lowest value was obtained from T4+AMF1 application. As can be understood from these results, the amount of proline in the leaves increased with AMF application. In AMF1 application, the lowest value was determined in T4 and the highest value was determined in T1 application (Table 8).

With the drought, there is a 44% increase in the total proline level. In AMF applications, the highest values were obtained in

AMF4 + T1 application. When the amount of proline in AMF1 + T1 application and the amount of proline in AMF4 + T1 application are compared, it is seen that there is an 86.6% increase in AMF4 + T1 application. These results show us that a significant increase in the amount of proline is achieved with AMF applications. When the results obtained in terms of root proline content are examined, it is seen that the highest proline amount (7.20 mg.gFW<sup>-1</sup>) was obtained at T1+AMF1 application. In AMF1 applications, the lowest amount of proline was obtained in T4 application. Proline value in wheat increased by 165.68% in AMF1 application at low water dose compared to high dose. There was an increase in the amount of proline with drought. Similar to leaves, proline increased in roots with AMF application. However, higher concentrations of proline were observed in lower water concentration treatments such as T1 and T2 compared to leaves.

Table 8. Average values for proline amounts in leaves and roots

AMF	Leaf Proline (mg.g FW <sup>-1</sup> )				Root Proline (mg.gFW <sup>-1</sup> )			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
AMF1	3.60 a	2.62 ab	2.36 b	2.01 b	7.20 a	5.25 b	3.22 c	2.71 c
AMF2	4.60 a	4.25 ab	3.51 b	2.07 c	5.22 a	4.60 a	3.46 a	2.72 a
AMF3	5.19 a	4.52 a	4.10 a	3.59 a	5.49 a	4.75 ab	4.10 ab	3.59 b
AMF4	6.72 a	5.70 ab	4.52 b	4.47 b	6.10 ab	4.96 a	4.20 a	4.00 a

Differences were compared by Duncan Multiple Ratio Test. The same lower case letters indicate that the difference between AMF applications at different water doses is not significant ( $P < 0.05$ ).

It was reported by Pavitra and Yapa (2018) that the proline content in the leaf increased after the plants were associated with AMF under drought stress conditions. Zhu et al. (2011), in dry conditions have observed high proline content after mycorrhizal fungal application to the *Zea mays*. They also found that drought increased the proline level in the root. Tuo et al. (2017) emphasized that mycorrhizal inoculation in the *Trifolium* plant increased the level of proline. In addition, these researchers have been observed that the AMF has increased the growth of *Trifolium repens*, drought tolerance, nutrient absorption, soluble protein, proline and flavonoid content, and prevent drought tolerance. Pavithra and Yapa (2018) has been emphasized that *Glycine max* L are inoculated with AMF in water stress conditions has a higher proline level. In addition, Begum et al. (2019) emphasized that the *Zea mays* plant increases the proline level in the plants exposed to the AMF application, both moderate and severe drought.

**Flavonoid content:** The research results showed that there is a negative relationship between the water dose and the amount of flavonoids. Among the AMF1 applications, the flavonoid amount in T1 which is the lowest water dose has a higher value than other water concentrations (Table 9). Due to drought flavonoid content increased in both roots and leaves. An increase

is also seen in all water applications, where AMF is applied. Flavonoids increased in roots and leaves with AMF application. At T4 water concentration flavonoid accumulation in roots and leaves is lower than other concentrations. Inoculation with AMF did not show a significant increase in flavonoid value in highly irrigated T3 and T4 plants. However, in AMF1 application when T4 irrigation application was compared with T1 irrigation application it was determined that there was an increase of 160%. Likewise, in AMF4 application, when T1 irrigation application is compared with T4 irrigation application, an increase of 407% is observed. This result shows us that the increase in flavonoids in high water dose is less than in low water applications.

Table 9. Average values of flavonoids in leaves and roots

AMF	Leaf Flavonoid (mg.g DW <sup>-1</sup> )				Root Flavonoid (mg.g DW <sup>-1</sup> )			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
AMF1	13.0 a	9.0 b	5.0 c	2.4 c	8.1 a	4.0 b	2.8 b	2.6 b
AMF2	16.2 a	11.0 b	7.0 c	3.3 d	9.3 a	7.4 a	3.2 b	3.0 b
AMF3	16.6 a	14.2 ab	9.2 bc	3.4 c	8.9 a	7.0 b	3.2 c	3.3 c
AMF4	20.3 a	16.0 a	9.8 b	4.0 c	12.4 a	10.0 ab	6.3 bc	4.1 c

Differences were compared by Duncan Multiple Ratio Test. The same lower case letters indicate that the difference between AMF applications at different water doses is not significant ( $P < 0.05$ ).

Similar results to our findings on the effect of water deficiency on flavonoid accumulation are found by Abbaspour et al. (2012), *Pistachia vera* L. also in their work, has been achieved. The researchers investigated the inoculated plants with *Glomus etunicatum*, well watered and arid conditions. They stated that the flavonoid content of the leaves increased in both applications. Similar results were obtained in a study conducted by Tue et al. (2017).

Flavonoids are the main secondary metabolites found in most vascular plants that can eliminate reactive oxygen species to protect plant species from oxidative damage (Wu et al., 2014). Therefore flavonoids are associated with the entire mechanism that protects cells from oxidative damage, except that they act as filters (Gould et al., 1995). As a result higher flavonoid content means stronger resistance to oxidative stress. The results show that AMF inoculation causes changes in the amount of flavonoids and increases drought resistance.

**Lipid peroxidation level in leaves:** As a result of the applications, the amount of lipid peroxidation in the leaves is as indicated in Table 10. According to the MDA measurement results, when the amount of lipid peroxidation is examined, the highest value is 1.38 in AMF1 + T1 application. In addition, when AMF 1 applications were evaluated, it was observed that the amount of MDA increased with the increase in drought. In the control group, AMF1+T1, lipid peroxidation increased 115% compared to AMF1+T4 level. In all AMF applications, there was a decrease in the amount of MDA. In terms of MDA amount,

approximately 40% decrease was observed in MDA amount with AMF application in T1 application.

Table 10. Average values for leaf lipid peroxidation content

AMF treatment	Lipid peroxidation (µmol MDA.g FW)			
	T1	T2	T3	T4
AMF1	1.38 a	0.81 b	0.76 b	0.64 b
AMF2	0.86 a	0.75 b	0.68 b	0.46 c
AMF3	0.91 a	0.73 b	0.69 c	0.57 d
AMF4	0.82 a	0.64 b	0.50 c	0.39 d

Similarly our findings on lipid peroxidation, Begum et al. (2019) observed high MDA in maize crops in drought conditions. Pedranzani et al. (2016) emphasized that the inoculation of *Digitaria eriantha* with *Rhizophagus irregularis* increases lipid peroxidation in arid conditions.

One of the by-products, MDA, is generally accepted as a reflection of membrane degradation, dysfunction or membrane lipid peroxidation (Lecan and Baccou, 1998; Ali et al., 2005). ROS increase occurs with drought stress. In lipid peroxidation, the increase of reactive oxygen species also causes an increase in the amount of MDA. With AMF application, MDA level decreased and reduced oxidative damage.

## 4. Conclusions and Recommendations

Water causes a significant decrease in crop production in the world, especially in arid and semi-arid regions. Drought, which is one of the most severe abiotic stresses that threatens plant growth and yield, has significantly affected the morphological and physiological characteristics and yield components of wheat. AMF applied at different water doses, especially AMF3 and AMF4, alleviated the negative effects on plant morphology, physiology and yield components. In other words, it can be concluded that the application of AMF significantly reduced the detrimental effects of drought stress on wheat plants grown in arid conditions.

## 5. Acknowledge

We thank the Projects of Scientific Investigation of Aydın Adnan Menderes University for funding (Project number: KOMYO-19002).

## References

Abbaspour, H., Saeidi-Sar, S., Afshari, H., Abdel-Wahhab, M. (2012). Tolerance of mycorrhiza infected pistachio (*Pistacia vera* L.) seedling to drought stress under glasshouse conditions. *J. Plant Physiol.*, 169:704-709.

Abdelmoneim, T.S., Tarek, A., Moussa, A., Almaghribi, O., Hassan, A., Alzahrani, S., Abdelbagi, I. (2014). Increasing plant tolerance to drought stress by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Life Sci J.*, 1(1): 10-17.

Ahanger, M.A., Agarwal, R.M. (2017). Potassium up-regulates antioxidant metabolism and alleviates growth inhibition under water and osmotic stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Protoplasma*, 254 (4): 1471-1486.

Ahanger, M.A., Tittal, M., Mir, R.A., Agarwal, R.M. (2017). Alleviation of water and osmotic stress-induced changes in nitrogen metabolizing enzymes in *Triticum aestivum* L. cultivars by potassium. *Protoplasma*, 254 (5): 1953- 1963.

Ali, M.B., Hahn, E., Paek, K. (2005). Effects of temperature on oxidative stress defense systems, lipid peroxidation and lipoxygenase activity in *Phalaenopsis*. *Plant Physiol Biochem.*, 43: 213-223.

Aliasgharzad, N., Neyshabouri, M.R., Salimi, G. (2006). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobium japonicum* on drought stress of soybean. *Biologia*, 61 (Suppl. 19): 324-328.

Al-Karaki, G.N., Al-Raddad, A. (1997). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of wheat genotypes differing in drought resistance. *Mycorrhiza*, 7:83-88.

Al-Karaki, G.N., Clark, R.B. (1998). Growth, mineral acquisition, and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress. *J Plant Nutr.*, 21:263-276.

Al-Karaki, G., McMichael, B., Zak, J. (2004). Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*, 14: 263-269.

Allen, M.F. (1982). Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on water movement through *Buteloua gracilis* LAG ex STEUD. *New Phytol.*, 91:191-196.

Amiri, R., Nikbakht, A., Etemadi, N. (2015). Alleviation of drought stress on rose geranium [*Pelargonium graveolens* (L.) Herit] in terms of antioxidant activity and secondary metabolites by mycorrhizal inoculation. *Sci. Hort.*, 197:373-380.

Aslanpour, M., Baneh, H.D., Tehranifar, A., Shoor, M. (2019). Effect of water stress on growth traits of roots and shoots (fresh and dry weights, and amount of water) of the white seedless grape. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 10(2):169-181.

Asrar, A.A., Abdel-Fattah, G.M., Elhindi, K.M. (2012). Improving growth, flower yield, and water relations of snapdragon *Antirrhinum majus* L. plants grown under well-watered and water-stress conditions using arbuscular mycorrhizal fungi. *Photosynthetica*, 50: 305-316.

Augé, R.M. (2001). Water relations, drought and vesicular arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11: 3-42.

Barr, H.D., Weatherley, P.E. (1962). A re-examination of the relative turgidity techniques for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15: 413-428.

Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39:205-207.

Begum, N., Ahanger, M.A., Su, Y., Lei, Y., Mustafa, N.S.A., Ahmad, P., Zhang, L. (2019). Improved drought tolerance by AMF inoculation in maize (*Zea mays*) involves physiological and biochemical implications. *Plants*, 8:579. doi:10.3390/plants8120579

Behrooz, A., Vahdati, K., Rejali, F., Lotfi, M., Sarikhani, S., Leslie, C. (2019). Arbuscular mycorrhiza and plant growth-promoting bacteria alleviate drought stress in walnut. *HortScience*, 54:1087-1092.

Beltrano, J., Ronco, M.G. (2008). Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: effect on growth and cell membrane stability. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20(1): 29-37.

Bernardo, L., Carletti, P., Badeck, F.W., Rizza, F., Morcia, C., Ghizzoni, R., Roupael, Y., Colla, G., Terzi, V., Lucini, L. (2019). Metabolomic responses triggered by arbuscular



- mycorrhiza enhance tolerance to water stress in wheat cultivars. *Plant Physiol. Biochem.*, 137: 203-212.
- Boyer, L.R., Brain, P. Xu, X.M., Jeffries, P. (2014). Inoculation of drought-stressed strawberry with a mixed inoculum of two arbuscular mycorrhizal fungi: effects on population dynamics of fungal species in roots and consequential plant tolerance to water. *Mycorrhiza*, 25 (3): 215-227.
- Budak, B., Khavalti, M.A., Özkan, Ş.S. (2017). The usage of native arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in drought areas and low-input crop production systems. *ADÜ Ziraat Fak. Derg.*, 14(2): 69-73.
- Cakmak, I., Horst, W.J. (1991). Effect of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). *Physiologia Plantarum*, 83:463-468.
- Chitarra, W., Maserti, B., Gambino, G. Guerrieri, E., Balestrini, R. (2016). Arbuscular mycorrhizal symbiosis-mediated tomato tolerance to drought. *Plant Signal Behav.*, 11: 1009-1023.
- Daryanto, S., Wang, L., Jacinthe, P.A. (2016). Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PLoS One*, 11:e0156362. doi: 10.1371/journal.pone.0156362
- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K., Liu, R.H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.*, 50: 3010-3014.
- Duc, N.H. (2017). Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on plant tolerance to some abiotic stresses and phytopathogens. PhD dissertation. Szent István University. Godollo. 122 p.
- Durán, P., Acuña, J., Armada, E., López-Castillo, O., Cornejo, P., Mora, M., Azcón, R. (2016). Inoculation with selenobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi to enhance selenium content in lettuce plants and improve tolerance against drought stress. *J Soil Sci Plant Nutr.*, 16(1): 211-225.
- Ehsan Mahdavi, S.M., Salehi, H., Zarei, M. (2018). Can arbuscular mycorrhizal fungi ameliorate the adverse effects of deficit irrigation on tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.)? *J Soil Sci Plant Nutr.*, 18: 636-652.
- Fouad, M.O., Essahibi, A., Benhiba, L., Qaddoury, A. (2014). Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi in the protection of olive plants against oxidative stress induced by drought. *Span J Agric Res.*, 12: 763-77.
- Ganugi, P., Masoni, A., Pietramellara, G., Benedettelli, S. (2019). A review of studies from the last twenty years on plant-arbuscular mycorrhizal fungi associations and their use for wheat crops. *Agronomy*, 9(12): 840.
- Goicoechea, N., Merino, S., Sánchez-Díaz, M. (2005). Arbuscular mycorrhizal fungi can contribute to maintain antioxidant and carbon metabolism in nodules of *Anthyllis cytisoides* L. subjected to drought. *J. Plant Physiol.*, 162: 27-35.
- Gould, K.S., Kuhn, D.N., Lee, D.W. (1995). Oberbauer ST. Why leaves are sometimes red. *Nature*, 378: 241-2.
- Hardie, K. (1985). The effect of removal of extraradical hyphae on water uptake by VAM plants. *New Phytol.*, 101: 677-684
- Hasanuzzaman, M., Gill, S.S., Fujita, M. (2013). Physiological role of nitric oxide in plants grown under adverse environmental conditions, in plant acclimation to environmental stress. 269-322. Tuteja N and SS Gill (eds). (NY: Springer Science+Business Media). doi: 10.1007/978-1-4614-5001-6\_11
- Huang, Y.M., Zou, Y.N., Wu, Q.S. (2017). Alleviation of drought stress by mycorrhizas is related to increased root H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> efflux in trifoliate orange. *Sci Rep.*, 7:42335. Available at: <http://doi: 10.1038/srep42335> (Accessed: 16 May 2021)
- Impa, S.M., Nadaradjan, S., Jagadish, S.V.K. (2012). Drought stress induced reactive oxygen species and anti-oxidants in plants, in *Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability*. 131-147. Ahmad, P., Prasad, M.N.V. (eds). (LLC: Springer Science+ Business Media). doi: 10.1007/978-1-4614-0634-1\_7
- Ingraffia, R., Amato, G., Frenda, A.S., Giambalvo, D. (2019). Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake, N<sub>2</sub> fixation, N transfer, and growth in a wheat/faba bean intercropping system. *PLoS ONE*, 14(3): e0213672
- Lacan, D., Baccou, J.C. (1998). High levels of antioxidant enzymes correlate with delayed senescence in nonnetted muskmelon fruits. *Planta*, 204: 377-382.
- Liu, T., Sheng, M., Wang, C.Y., Chen, H., Li, Z., Tang, M. (2015). Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, water status, and photosynthesis of hybrid poplar under drought stress and recovery. *Photosynthetica*, 53: 250-258.
- Mathur, N., Vyas, A. (2000). Influence of arbuscular mycorrhizae on biomass production, nutrient uptake and physiological changes in *Ziziphus mauritana* Lam under water stress. *J. Arid Environ.*, 45:191-195.
- Metwally, A., Azooz, M., Nafady, N., El-Enany, A. (2019). Arbuscular mycorrhizal symbiosis alleviates drought stress imposed on wheat plants (*Triticum aestivum* L.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 17 (6):13713-13727.
- Michelsen, A., Rosendahl, S. (1990). The effect of VA mycorrhizal fungi, phosphorus and drought stress on the growth of *Acacia nilotica* and *Leucaena leucocephala* seedlings. *Plant Soil.*, 124:7-13.
- Neumann, E., George, E. (2009). The effect of arbuscular mycorrhizal root colonization on growth and nutrient uptake of two different cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) genotypes exposed to drought stress. *Emir J Food Agric.*, 21:1-17.
- Olawuyi, O.J., Odebode, A.C., Babalola, B.J., Afolayan, E.T., Onu, C.P. (2014). Potentials of Arbuscular Mycorrhiza Fungus in Tolerating Drought in Maize (*Zea mays* L.). *American Journal of Plant Sciences*, 5:779-786.
- Olsson, P.A., Thingstrub, I., Jakobsen, I., Baath, E. (1999) Estimation of the biomass of arbuscular mycorrhizal fungi in a linseed field. *Soil Biol Biochem.*, 31:1879-1887
- Pal, A., Pandey, S. (2016). Role of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and reclamation of barren soil with wheat (*Triticum aestivum* L.) crop. *Int J Soil Sci.*, 12: 25-31.
- Pavithra, D., Yapa, N. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation enhances drought stress tolerance of plants. *Groundwater for Sustainable Development*, 7: 490-494.
- Pedranzani, H., Rodríguez-Rivera, M., Gutierrez, M., Porcel, R., Hause, B., Ruiz-Lozano, J.M. (2016). Arbuscular mycorrhizal symbiosis regulates physiology and performance of *Digitaria eriantha* plants subjected to abiotic stresses by modulating antioxidant and jasmonate levels. *Mycorrhiza*, 26:141-152.
- Porcel, R., Ruiz-Lozano, J.M. (2004). Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *Journal of Experimental Botany*, 55:1743-1750.
- Posta, K., Duc, N.H. (2020). Benefits of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Application to Crop Production under Water Scarcity. *Drought Detect Solut* Available online: Available at:



- <https://www.intechopen.com/books/droughtdetection-and-solutions/benefits-of-arbuscular-mycorrhizal-fungi-application-to-crop-production-underwater-scarcity> (Accessed: 14 May 2021)
- Quiroga, G., Erice, G., Aroca, R., Chaumont, F., Ruiz-Lozano, J.M. (2017). Enhanced drought stress tolerance by the arbuscular mycorrhizal symbiosis in a drought-sensitive maize cultivar is related to a broader and differential regulation of host plant aquaporins than in a drought-tolerant cultivar. *Front Plant Sci.*, (8):1056. Available at: <http://doi: 10.3389/fpls.2017.01056> (Accessed: 16 May 2021)
- Rani, B. (2016). Effect of arbuscular mycorrhiza fungi on biochemical parameters in wheat *Triticum aestivum* L. under drought conditions. Doctoral dissertation, CCSHAU, Hisar.
- Rapparini, F., Penuelas, J. (2014). Mycorrhizal fungi to alleviate drought stress on plant growth. In: *Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stress*, 21-42. Miransari M (eds). Springer, New York, NY
- Ruiz-Lozano, J.M., Azon, R., Gomez, M. (1995). Effects of arbuscular-mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance: physiological and nutritional plant responses. *Appl Environ Microbiol.*, 61:456-460.
- Ruiz-Lozano, J.M. (2003). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. *New Perspectives Molecular Stud Mycorrhiza*, 13:309-317
- Ruiz-Lozano, J.M., Aroca, R., Zamarreño, Á.M., Molina, S., Andreo-Jiménez, B., Porcel, R., García-Mina, J.M., Ruyter-Spira, C., López-Ráez, J.A. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis induces *strigolactone* biosynthesis under drought and improves drought tolerance in lettuce and tomato. *Plant Cell Environ.*, 39 (2): 441-452. doi: 10.1111/pce.12631
- Ruiz-Sánchez, M., Armada, E., Muñoz, Y., de Salamone, I.E.G., Aroca, R., Ruiz-Lozano, J.M., Azcón, R. (2011). Azospirillum and arbuscular mycorrhizal colonization enhanced rice growth and physiological traits under well-watered and drought conditions. *J. Plant Physiol.*, 168: 1031-1037
- Sánchez-Blanco, M.J., Fernández, T., Morales, M.A., Morte, A., Alarcón, J.J. (2004). Variations in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glomus deserticola* under drought conditions. *J. Plant Physiol.*, 161: 675-682.
- Sharma, N., Yadav, K., Aggarwal, A. (2017). Role of potassium and arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of water stress on *Vigna mungo*. *Environmental and Experimental Biology*, 15:15-24.
- SPSS Inc. (1999) *SPSS for Windows: Base 10.0 Applications Guide*. Chicago, Illinois
- Tuo, X.Q., He, L., Zou, Y.N. (2017). Alleviation of drought stress in white clover after inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 45:220-224
- Wu, Q.S., Zou, Y.N., Abd-Allah, E.F. (2014). Mycorrhizal association and ROS in plants. 453-475. In: Ahmad P. (eds.). *Oxidative Damage to Plants Antioxidant*. Academic Press.
- Yang, Y., Tang, M., Sulpice, R., Chen, H., Tian, S., Ban, Y. (2014). Arbuscular mycorrhizal fungi alter fractal dimension characteristics of *Robinia pseudoacacia*, L. seedlings through regulating plant growth, leaf water status, photosynthesis, and nutrient concentration under drought stress. *J Plant Growth Regul.*, 33:612-625.
- Yücel, C., Özkan, H., Ortaş, I., Yağbasanlar, T. (2009). Screening of wild emmer wheat accessions (*Triticum turgidum* subsp. *dicoccoides*) for mycorrhizal dependency. *Turk J Agric For.*, 33:513-523.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stage of cereals. *Weed Res.*, 14:415-421.
- Zhao, R., Guo, W., Bi, N., Guo, J., Wang, L., Zhao, J., Zhang, J. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi affect the growth, nutrient uptake and water status of maize (*Zea mays*, L.) grown in two types of coal mine spoils under drought stress. *Appl Soil Ecol.*, 88:41-49.
- Zhu, X., Song, F., Liu, S. (2011). Arbuscular mycorrhiza impacts on drought stress of maize plants by lipid peroxidation, proline content and activity of antioxidant system. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9(2):583-587.



## Manda Eti Üretimi ve Kalite Özellikleri

Yusuf Konca<sup>1</sup>, Asiye Yılmaz Adkinson<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, 38039, Melikgazi-Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6231-1512), yusufkonca@erciyes.edu.tr

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, 38039, Melikgazi-Kayseri, Türkiye, (ORCID:0000-0003-0311-5965), ayadkinson@erciyes.edu.tr

(İlk geliş tarihi: 03 Ekim 2021 ve Kabul tarihi 16 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1003259)

**ATIF/REFERENCE:** Konca, Y. & Yılmaz Adkinson, A. (2021). Manda Eti Üretimi ve Kalite Özellikleri. *European Journal of Science and Technology*, (31), 420-428.

### Öz

Bu derlemede manda etinin kalite özellikleri ve et kalitesine etki eden etmenler üzerinde yapılan çalışma sonuçları değerlendirilmiştir. Mandaların sığırlara göre canlı ağırlık kazanımları bir miktar düşük olmakla birlikte, düşük kaliteli mera ve yemlerden iyi bir şekilde yararlanmaları onları besi hayvanı olarak avantajlı kılmaktadır. Manda eti, Asya ülkeleri ve Türkiye’de genellikle yaşlı ve damızlık dışı kalmış mandalardan elde edilmekte ve bu nedenle karkas kalitesi de düşük olmaktadır. Manda eti sığır etine göre daha koyu kırmızı renkli ve kas lifleri arasındaki yağ oranı düşüktür ve etteki yağ oranının düşüklüğü ve etin koyu kırmızı renkli oluşu, etin diğer endüstriyel ürünlere işlenmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Manda eti benzer yaşta kesilmiş sığır etleri ile kıyaslandığında besin madde içerikleri, organoleptik özellikler, etin sululuğu ve gevrekliği bakımından benzer özellikler taşıdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte manda eti alımında daha düşük bir fiyat verilmekte ve bu durum üretici gelirini düşürmektedir. FAO’ya göre manda eti hak ettiği fiyatın altında satışa sunulmaktadır. Manda etleri besin madde içerikleri bakımından sığır etlerine benzer olduğu ancak kolesterol bakımından düşük olduğu ve insan sağlığını destekleyici olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** manda, et üretimi, yağ asitleri, et kalitesi

## Buffalo Meat Production and Quality Characteristics

### Abstract

In this review, the results of studies on the quality characteristics of buffalo meat and the factors affecting meat quality were evaluated. Although the live weight gain of buffaloes is slightly lower than cattle, their high feed efficiency of poor quality pasture and feeds makes them advantageous as livestock. Buffalo meat is generally obtained from old, unproductive buffaloes in Asian countries and Turkey, and therefore the carcass quality may be low. Buffalo meat is darker red in color than beef, the fat content between muscle fibers is low, and the low fat content in meat and the dark red color of meat provide significant advantages in processing meat into other industrial products. It was determined that buffalo meat had similar properties in terms of nutrient content, organoleptic properties, juiciness and tenderness of the meat when compared to beef cuts of similar age. However, a lower price is given for the purchase of buffalo meat and this reduces the income of the producer. According to FAO, buffalo meat is offered for sale below the price it deserves. It was concluded that buffalo meats are similar to beef in terms of nutrient content, but lower in cholesterol and support human health.

**Keywords:** buffalo, meat production, fatty acids, meat quality

\* [ayadkinson@erciyes.edu.tr](mailto:ayadkinson@erciyes.edu.tr)

## 1.Giriş

Günümüz nüfus artış oranı aynı hızıyla devam ederse Dünya nüfusu 2050 yılında 9-10 milyar insan sayısına ulaşacağı ve gıda ihtiyacının da yaklaşık %50 artacağı tahmin edilmektedir (FAOStat, 2019). Gerek dünya nüfusunun artışı ve gerekse toplumların gelir düzeylerindeki iyileşmeler hayvansal ürün tüketiminin artmasına ve dolayısıyla et üretimine olan ihtiyacın artmasına neden olacaktır. Dünya genelinde kırmızı et üretiminin birinci kaynağı sığırlardır ve bunu domuz, koyun, keçi ve mandalardan elde edilen et üretimi izlemektedir (FAOStat, 2019), beyaz et üretiminde ise etlik piliçler en önemli kaynak durumundadır (Daghir ve ark., 2021). Et üretimi için kullanılan kanatlı hayvan yemlerinde mısır ve buğday gibi tahıllar bulunmakta ve bu kaynaklar insanlar için de önemli gıda kaynakları oldukları için bir rekabet oluşmaktadır. Sığır, koyun ve keçi gibi hayvanlar önemli et ve süt üretim kaynağıdır ve kanatlılara göre daha az kesif yemlere ihtiyaç duyarlar. Mandalar dünyada başta Asya ülkeleri olmak üzere belli bölgelere dağılmışlardır ve sayıları diğer çiftlik hayvanlarına göre daha azdır (FAOStat, 2019), ancak diğer hayvan gruplarına göre daha olumsuz şartlarda beslenmeye uygundur. Bu bakımdan kanatlı ve ruminant hayvanlar içerisinde insan gıdası ile en az rekabet edebilecek hayvanlar mandalardır. Ayrıca mandaların yüksek hastalık direnci ve geniş bir barınma, besleme ve sürü yönetim esnekliği onları avantajlı kılmaktadır (Wanapat and Kang, 2013).

Mandaların bazı beslenme özellikleri onları diğer hayvan gruplarına göre avantajlı kılmaktadır. Örneğin sığırlara göre mandalar daha düşük kuru madde tüketimine sahiptirler (Terramoccia ve ark., 2000). Ayrıca, mandaların selüloz ve proteinden yararlanma düzeyleri sığır ve koyunlara göre daha iyidir ve düşük kaliteli kaba yemleri daha iyi sindirme kabiliyetleri nedeniyle olumsuz şartlara daha iyi adapte olabilmektedirler. Mandalar, kaba yem kaynağı olarak saman ve mahsul artıkları ile hem yaşamlarını sürdürülebilirler ve hem de proteince zengin, yağsız, kolesterol seviyesi düşük et üretebilirler (Sarwar ve ark., 2009). Mandalar, sığır ve koyun gibi ruminant hayvanlara göre daha uzun süreyle verimliliklerini devam ettirebilirler. Dolayısıyla beslenme kaynakları bakımından insanlarla daha az rekabetçi olan ve uzun bir ömür boyunca kötü bakım ve besleme şartlarında yararlanma imkânı olan bu hayvanlardan sürdürülebilir bir et üretimi için yararlanmak mümkündür. Ancak, bu güne kadar mandalara yeterli önem verilmemiş ve diğer hayvanlar gibi ciddi ıslah ve besleme çalışmaları yapılmamıştır. Islah çalışması olarak, bilinen tek ilerleme, et verimini artırmaya yönelik olarak Trinite ve Tabaga adalarında Bufalyso ırkı geliştirilmesidir (Irueta ve ark., 2008). Buna rağmen mandalar sıcak ve sert tropikal iklim ve kötü bir besleme koşullarında sığırlara göre daha iyi bir büyüme göstermektedirler. Eğer mandalara iyi bir bakım ve besleme uygulanırsa et verimi ve kalitesi yüksek ve aynı zamanda yetiştirme masrafları daha düşük olabilmektedir (Astuti ve ark., 2019).

Pek çok ülkede et elde edilen mandalar kırsal alanlarda, sürülerden ayıklanan ve verim dönemi sona ermiş yaşlı hayvanlardan oluşmaktadır (Nanda ve Nakao, 2003). Yaşlı ruminant hayvanlardan elde edilen etlerin sertliği ve lezzetsizliği nedeniyle etin duyusal özelliklerinde azalmayla karakterize edilen bir durum ortaya çıkmakta (Ziauddin ve ark., 1994) ve aynı

zamanda et üretim kaynağı sürekliliği ve güvenilirliği bakımından iyi bir durum oluşturmamaktadır (Naveena ve Kiran, 2014). Ayrıca, mevcut piyasa koşullarında manda eti et toptancıları tarafından (kasaplar), sığır ve koyun etlerine göre daha ucuz bir fiyatla alınmaktadır (genellikle % 10-20 daha düşük, kişisel görüşmeler) ve dolayısıyla manda üreticisi için düşük gelir elde edilmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte, manda etleri toptan alım fiyatına uygun olarak perakende daha ucuza satılırsa, düşük gelire sahip toplumlarda ucuz protein kaynağı olarak kullanılabilirler (Ranjhan, 2013).

Manda malaklarının doğum ağırlığı 20-30 kg civarındadır (Uğurlu ve ark. 2016; Kul ve ark. 2018), ileri yaşlarda erkekleri 450-550 kg ve dişileri 420-450 kg ağırlığa ulaşabilmekte, ilk kızgınlığını 24-36 aylık yaşta ve 250-275 kg canlı ağırlık (CA)'ta iken göstermekte ve ilk buzağılama yaşı 4-5 yaşları arasında olmaktadır (Yılmaz Adkinson and Konca, 2021). Bu özellikleri bakımından sığırlara göre önemli bir dezavantaja sahiptir ve ayrıca sığırlara göre buzağılama aralıkları daha uzundur. Et kalitesi ve bileşimini ırk, genetik yapı, yetiştirme sistemi ve kesim çağı etkileyebilmektedir (Ulutaş ve ark., 2021; Aksoy ve ark., 2021). Yapılan bir çalışmada, farklı kesim ağırlıklarında (200, 250, 300 ve 350 kg) bulunan erkek manda malaklarında kesim ağırlığı arttıkça sıcak ve soğuk karkas oranı ve karkas soğutma firesinin arttığı ve karkas parçaları ile yenilebilir iç organ ağırlıklarının farklılık gösterdiğini bildirilmiştir. Ayrıca, araştırmacılar kesim yaşının 350 kg ulaşmadan mandaların kesime sevk edilmemesi gerektiğini bildirmişlerdir (Ulutaş ve ark., 2021).

Son yıllarda yaşanan küresel ısınma, salgın hastalıklar, bölgesel afetler ve ekonomik krizler dünyada besin kaynakları üretimini ve beslenme alışkanlıklarını önemli düzeyde değişime zorlamaktadır. Manda eti kırmızı etler içerisinde düşük yağ ve kolesterol içeriği nedeniyle sağlıklı etler içerisinde yer almaktadır (Kandeean ve ark., 2013), dolayısıyla sağlık bilincine sahip olan tüketicilerin tercih edebileceği yağsız et sağlayabilmektedir. Son yıllardaki gıda krizleri ve ekonomik darboğazalar nedeniyle genel olarak Dünyada kırmızı et tüketimi 1990'lardan sonra giderek azalmaktadır (Bonnet ve ark., 2020). Bu azalışı önlemek için daha ucuz et kaynakları temin edebilen hayvanlara yönelmek faydalı olabilir.

Bu derlemede, önemli bir et üretim potansiyeli bulunan mandalarda et verimi ve kalite özellikleri incelenmiş ve gelecek için insan beslenmesinde kullanım potansiyeli değerlendirilmiştir.

## 2.Dünya Kırmızı Et Üretimi ve Manda Etinin Payı

Dünyada son 40 yıllık dönemde kırmızı et üretimi ve hayvan ırklarına göre elde edilen et miktarları ve % değişim oranları Tablo 1'de verilmiştir. Dünyada kırmızı et üretimi miktarları 1980 yılı temel alınarak hesaplandığında 2019 yılına kadar sürekli bir artış içerisinde olduğu ve bu artışın yaklaşık 40 yıl içerisinde %62,86 arttığı belirlenmiştir. Diğer yandan sığır, koyun, keçi ve manda eti üretimi miktarlarındaki değişim oranı 1980 ila 2019 yılları arasında sırasıyla; %28,82, 41,08, 134,54 ve 89,26 olarak gerçekleşmiştir. En yüksek değişim keçilerden elde edilen et

miktarında olmuş, manda etinin artış oranı %89,26'lık oran ile sığır ve koyun eti üretiminden daha yüksek olmuştur (Tablo 1). Toplam kırmızı et üretiminin yıllar itibariyle değişimi incelendiğinde 1980, 1990, 2000, 2010, 2015 ile 2019 yılları arasındaki değişim sırasıyla; %19,23, 29,22, 47,16, 52,19 ve 62,86 olarak gerçekleşmiştir. Dünyada toplam ve bazı kıtalardaki

kesilen manda sayıları Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'nin incelenmesinden görülebileceği gibi kesilen manda sayıları Dünya toplamı bakımından sürekli artış göstermiş ve 1980 yılına göre kesilen manda sayısı 2019 yılında %131,32 olmuştur.

Tablo 1. Hayvan türlerine göre dünyada kırmızı et üretimi miktarları (ton) ve % değişimleri

	Yıllar			Manda	Toplam	Toplam % değişim
	Sığır	Koyun	Keçi			
1980	45565944	5646954	1693540	1605905	54512343	-
1990	53028463	7032989	2665887	2266850	64994189	19,23
2000	55832379	7717166	3879275	3014411	70443231	29,22
2010	62646774	8483431	5188378	3901558	80220141	47,16
2015	63847528	9437953	5647780	4028373	82961634	52,19
2019	68313894	9922238	6252564	4290212	88778908	62,86
1980-2019 değişim oranı, %	28,82	41,08	134,54	89,26		

FAOStat, 2021

Aynı yıllarda Türkiye'de kesilen manda sayılarında ise çok ciddi bir azalma (-%99,64) meydana geldiği görülmektedir. Ancak Türkiye'de ki manda sayısı (168000) göz önüne alındığında ve doğan malakların yaklaşık yarısının erkek olduğu

varsayılırsa, bu miktarın besiyeye alınması ve kesime sevki durumunda elde edilecek rakamın daha yüksek olabileceği düşünülebilir.

Tablo 2. Dünyada ve bazı kıtalarda kesilen manda sayısı (baş) ve % değişim oranları

	Yıllar					
	1980	1990	2000	2010	2015	2019
Dünya	11971663	16265642	20484008	25783012	26359309	27692388
Afrika	934078	1215000	1640000	1262000	1179000	1088548
Asya	11007703	15040014	18834206	24487796	25073166	26469363
Avrupa	29882	10628	9802	33216	87544	104776
Türkiye	94950	82880	23518	15720	1391	338
Değişim, % (1980 yılına göre)						
Dünya	-	35,87	71,10	115,37	120,18	131,32
Türkiye	-	-12,71	-75,23	-83,44	-98,54	-99,64

FAOStat, 2021

Dünyada ve bazı kıtalarda yıllara göre manda eti üretimi miktarları Tablo 3'te verilmiştir. Dünya manda eti üretimi 1980 ile 2019 yılları arasında %167 oranında artış göstermiş, benzer artış Afrika, Asya, Avrupa kıtalarında sırasıyla %204,66, 162,97 ve 414,68 olmuştur. Türkiye'de ise manda eti üretimi 1980 ile 1990 yılları arasında %7,36'lık bir artış olmuş, ancak bu değişim 1980 yılına göre 2019 yılında %99,32 azalma ile sonuçlanmıştır. Türkiye'de manda eti üretimindeki 2010 yılından sonraki azalışın bir nedeni 2011 yılında uygulamaya alınan manda ıslahı ile hayvan sayısının artırılmaya çalışılması nedeniyle özellikle dış

hayvanların kesimindeki azalma sonucu olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda sığır yerine kesilerek kaydının kesimhanelerde sığır olarak işlenmesi ise diğer bir sebep olabilir.



Tablo 3. Dünyada ve bazı kıtalarda manda eti üretimi (ton)

Ülkeler	Yıllar					
	1980	1990	2000	2010	2015	2019
Dünya	1605905	2266850	3014411	3901558	4028373	4290212
Afrika	120000	161000	288000	398353	407119	365588
Asya	1481771	2103644	2724577	3496432	3598781	3896627
Avrupa	4134	2206	1834	6773	17947	21277
Türkiye	10660	11445	4047	3387	326	73
Değişim, % (1980 yılına göre)						
Dünya	-	41,16	87,71	142,95	150,85	167,15
Afrika	-	34,17	140,00	231,96	239,27	204,66
Asya	-	41,97	83,87	135,96	142,87	162,97
Avrupa	-	-46,64	-55,64	63,84	334,13	414,68
Türkiye	-	7,36	-62,04	-68,23	-96,94	-99,32

FAOStat, 2021

Dünyada ve bazı ülkelerde kesilen manda sayısı (baş), birim karkas verimi ve kesilen hayvanların toplam manda sayılarına oranı Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'te manda sayılarına göre ülkeler sıralanmış, toplam manda sayılarına göre kesilen manda sayıları oranlanmıştır. Manda sayısı, manda eti üretimi ve kesilen manda baş sayısı bakımından Hindistan en yüksek rakamlara sahiptir. Bununla birlikte gerek kesilen miktarın toplam manda sayısına oranı ve gerekse elde edilen karkas verimi bakımından

birçok ülkeye göre Hindistan daha düşük düzeydedir. Toplam manda sayısı / kesilen manda sayısı oranı en yüksek ülke %31,31 ile Mısır ve en düşük ülke olarak ise %0,19 ile Türkiye ve takiben Bangladeş (%4,54) yer almaktadır. Karkas verimleri bakımından değerlendirildiğinde hayvan başına en düşük karkas verimi 80 kg ile Bangladeş'tir ve en yüksek karkas verimi elde edilen ülke 343,44 kg ile İran olmuştur.

Tablo 4. Dünyada ve bazı ülkelerde kesilen manda sayısı (baş), birim karkas verimi ve kesilen hayvanların toplam manda sayıları\*

Ülke	Manda sayısı, baş	Manda et üretimi, ton	Kesilen manda sayısı, baş	Birim karkas verimi, kg	Kesilen/ toplam oranı, %
Hindistan	109851678	1616853	11682255	138,4	10,63
Pakistan	40002000	1085000	7647000	141,89	19,12
Çin	27336130	658447	4460266	147,63	16,32
Myanmar	4082914	54203	381881	141,94	9,35
Mısır	3476396	365588	1088548	335,85	31,31
Vietnam	2387887	94479	426306	221,62	17,85
Bangladeş	1490000	5412	67654	80	4,54
Brezilya	1434141	-	-	-	-
Endonezya	1141298	23972	133109	180,09	11,66
İtalya	402290	21277	104776	203,07	26,04
Türkiye	178397	73	338	215,98	0,19
İran	72434	4725	13758	343,44	18,99
Dünya	204342419	4290212	27692388	154,92	13,55

\*FAOStat 2019

### 3. Mandaların Karkas ve Et Özellikleri

Mandalardan elde edilen karkas verimleri ve et kalite özellikleri bakımından farklı yönlerden incelenmesi gerekir. Büyükbaş hayvanların kesim randımanı karlılığı etkileyen önemli faktörlerdendir. Lambert ve ark. (2014) bataklık mandalarında kesim randımanının %48-49, nehir mandalarında ise bu oranın %50-55 arasında olduğu ve Çin'de yaşayan binlangjang mandalarında kesim randımanının %52-55 olduğu ve yaş ilerledikçe karkas randımanının düştüğü bildirilmiştir (Li ve ark., 2018). Irurueta ve ark. (2008) 18 aylık kesilen manda malaklarının kesim randımanlarının %50 olduğunu bildirmişlerdir. Bu verilere göre nehir mandalarının kesim randımanları sığırlardan elde edilen kesim randımanlarına (%50-55) (Duru ve Sak, 2017) yakın olduğunu göstermektedir.

Irurueta ve ark. (2008) USDA'nın sığır karkas özellikleri ölçeğine göre, manda karkaslarının sığır karkaslarına göre daha az göz kası alanı ve etlerinde daha az mermerleşmeye sahip olduğunu ve 592 kg canlı ağırlığındaki bir bataklık mandasının karkas veriminin 277 kg ve et veriminin 215 kg olduğu bildirmişlerdir. Giuffrida-Mendoza ve ark., (2015) manda ve brahman sığırlarında taze kastaki % yağ ve kolesterol oranının türler arasında ve kesim yaşlarında farklılık göstermediğini bildirmişlerdir. Ayrıca yeterli protein ve enerji içeren iyi kaliteli yemlerle entansif şartlarda yetiştirilen manda malaklarının günde 0,9 ile 1,0 kg civarında CA alabildiklerini göstermiştir (Ranjhan, 2013). Bir çalışmada manda malaklarının 300, 350, 400 ila 450 kg canlı ağırlıklarda kesildiklerinde kemiksiz et oranının %36,6 ila 39,0 arasında değiştiğini ve kemik oranının %9,3 ila 11,0 arasında değiştiğini bildirmişlerdir (Rashad ve ark., 2019). Çalışmalar besleme yöntemleri ve kesim yaşının (20 ila 34 aylık)

manda etinin yumuşaklık ve lezzetliliğine önemli derecede etki etmediğini belirtmişlerdir ve yakın yaşlarda kesilen sığırlarla benzer olduğunu göstermiştir (Charles, 1982).

Hindistan gibi bazı ülkelerde mandalardan elde edilen etlerin %85'i sürüden ayıklanan mandalardan elde edildiği (Kiran ve ark., 2016), ileri yaşlı hayvanların kesilmesi nedeniyle de çoğu tüketicinin manda etlerini koyu siyah ve oldukça sert olarak nitelikleri bildirilmiştir. Manda etinin yağsız olması, farklı ürünlerde kullanımını artırılabilen ve koyu kırmızı görünüşteki et rengi nedeniyle iyi bir bağlayıcı ve endüstride katma değerli et ürünleri geliştirilmesine uygun olmaktadır (Naveena ve Kiran, 2014). Bununla birlikte bazı araştırmalarda manda etinin yumuşaklığının sığır etine benzediği ve düşük kolesterol içeriği nedeniyle avantajlara sahip olduğu bildirilmiştir (Paleari ve ark., 1997). Manda eti kalitesi genellikle sığır eti ile karşılaştırılarak çalışılmış ve bu iki et arasında çeşitli et kalite özellikleri ve duyu nitelikleri için birçok benzerlikler bildirilmiştir (Neath ve ark. 2007; Tateo ve ark. 2007; Joksimovic and Ognjanovic 1977). Manda etinin, sığır eti ile karşılaştırılabilir fiziko-kimyasal, biyokimyasal ve teknolojik özelliklere sahip olduğu belirtilmektedir (Kandeepan ve ark., 2009).

Taze manda etinin miyogloblin içeriği, kas tipine ve hayvan yaşına bağlı olarak 2,7 ila 9,4 mg/g arasında değişmekte ve yaş arttıkça et daha koyu hale gelmektedir (Valin ve ark., 1984). Irurueta ve ark. (2008) farklı yaş gruplarındaki manda eti için 12,0 ile 20,0 arasında değişen kırmızılık skorları (a\*) bildirmiştir. Manda eti koyu kırmızı renkli ve yağı ise beyaz renkli ve serttir (Joksimovic ve Ognjanovic, 1977). Abdolghafour and Saghir (2014) manda etinin koyu kırmızı renkte olmasının daha az kas içi yağ veya daha fazla pigmentasyondan kaynaklandığını bildirmiştir.

Kırmızı etlerin tercihinde içerdiği besin maddeleri önemli olmakla birlikte, etin parlaklığı tüketicinin satın alma tercihinin etkileyen önemli unsurlardan biridir (Banović ve ark., 2009). Ayrıca, etin satın alındıktan sonra sertliği, sululuğu, kokusu ve lezzeti gibi duyu özellikleri de et alım tercihlerini etkilemektedir (O'Quinn ve ark., 2018). Manda eti genel olarak market ve kasaplarda yaygın olarak satışı bulunmayan etlerdendir. Manda eti gibi az bilinen etlerin kıyaslaması, sığır ve koyun etlerinin görünüş ve duyu özelliklerine göre yapılmaktadır. Ancak, Türkiye'de marketlerde ve kasaplarda manda etinin satışta bulunmaması nedeniyle etler arasında bir kıyaslama yapılamamaktadır. Bununla birlikte, manda eti sığır eti ile organoleptik, kompozisyon, besleyicilik, fonksiyonellik ve fiziko-kimyasal kalite özellikleri bakımından aşağı yukarı benzer olduğu, hatta manda etinin yağsız, kalorisi ve kolesterol içeriğinin daha düşük olması nedeniyle avantajları bulunduğu bildirilmiştir (Naveena ve Kiran, 2014).

Sığırların da ileri yaşlarda kesilmeleri durumunda kas liflerini saran bağ dokularının sertleşmesi nedeniyle etin gevrekliğinde önemli bir azalma olduğu ve bu durumda daha çok genç hayvanların besiyeye alınarak bir ile iki yaş civarlarında kesildikleri bilinmektedir. Mandalarda da kesim yaşı öne alındığında etlerinin daha açık renkli ve et kalite özelliklerinin daha yüksek olabileceği gösterilmiştir (Kandeepan ve ark., 2013). Yüksek hayvanı olarak kullanılan mandalar yaşlanıp çalışma yeteneklerini kaybettiklerinde ve 12 ila 13 yaşlarında kesime sevk edilmektedirler (Tuyen ve Ly, 2001) ve tüketicilerin alışkanlıkları ve geleneksel düşünceleri nedeniyle sığır etinden daha düşük bir fiyata satılmaktadırlar (Ly, 2001).

Günümüzde mandaların birincil amaç olarak süt üretimi için yetiştirilmeleri ve süttten elde edilen gelirin ön planda olması nedeniyle erkek buzağuların içtikleri süttten tasarruf etmek amacıyla bazen ölüme terk edilmekte veya beslenme ve bakımlarına özen gösterilmemektedir (Pathak ve ark., 1987). Erkek manda malaklarının sığırlarda olduğu gibi besiyeye alınmaları ve et kaynağı olarak değerlendirilmeleri durumunda hem et endüstrisine katkı sağlayabilirler ve hem de iyi kaliteli et üretimine katkıları bulunabilir (Borghese, 2013). Bunun aksine bazen de manda buzağuları, beyaz buzağı eti elde etmek amacıyla süt emme periyodunda 60-80 kg ağırlıkta ve erken yaşta kesilmektedirler ve bu durum manda eti üretimini negatif yönde etkilemektedir (USDA, 2018).

Robertson ve ark. (1986) birlikte çayır merada otlatılan ve aynı yaş (27 ay) ve kesim ağırlığında (ortalama 317 kg) bulunun brahman ırkı sığırlar ve mandaların vücudun dört farklı bölgesinde alınan et özelliklerini karşılaştırdıkları bir çalışmada, manda etlerinin sığırlara göre daha koyu kırmızı renkli olduğunu ve soğutulmuş karkasta koyu rengin daha belirgin olduğunu bildirmiştir. Araştırmacılar, etteki bağ dokunun mandalarda daha fazla ve sığırlara göre etin daha sert olduğunu, Psoas major (PM) kası bakımından aralarında fark olmadığını ancak sığır etinin tercihini daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Manda etinin sığır etine benzer su tutma kapasitesi, gevrekliği, yumuşaklığı ve mermerleşme (kas içi yağ dağılımı) bakımından benzer olması nedeniyle (Lapitan ve ark., 2007) sığır eti yerine kullanılabilir. Manda eti kırmızı renk, düşük yağ ve kolesterol, düşük bağ dokusu, yüksek protein, yüksek su tutma kapasitesi ve emülsifiye etme kapasitesi özellikleri nedeniyle üstün niteliklidir (Kandeepan ve ark., 2013).

Etin pH değeri etin rengini belirlediği için tüketicilerin satın alma tercihini etkilemekte ve tüketiciler genellikle normal kırmızı renkli etleri tercih ederken koyu kırmızı etleri tercihi düşüktür (Acebrón ve Dopico, 2000). Manda etinin kimyasal bileşiminin ve kalite özelliklerinin manda türü ve cinsi, yaşı, beslenme yoğunluğu, yönetim sistemi ve çevre koşulları (Abdolghafour ve Ahmad Saghir, 2014), kesim döneminde stresli olmaları ve etin muhafazasından da kaynaklı olabilmektedir (Ziauddin ve ark., 1994). Valin ve ark. (1984) manda etinin sığır etinin pH değeri ve kollojen miktarının sığırlardan düşük olduğunu, fakat kaslar arasındaki bağ kollojeni bakımından türler arasında farklılık bulunmadığını bildirmiştir. Ziauddin ve ark. (1994) genç yaşta kesilen manda etlerindeki kollojen varlığının yaşlı mandalara göre daha düşük olduğunu ve yaşlı hayvanların kaslarında pişirme kaybı ve termal büzülme oranının genç hayvanlara göre daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Abdolghafour and Saghir, (2014) manda etinin koyu renkli, iyi bağlama özelliklerine sahip ve ürün imalatında tercih edilebilir ve manda eti sosis gibi yemeye hazır ürün üretiminde kullanılabilir.

İtalya gibi bazı ülkelerde manda etine olan ilgi son yıllarda artmıştır. Ancak, önceki yıllarda kesilen hayvanların üreme ve verim problemleri olan hayvanların kesilmeleri ve bunların düşük et kaliteleri nedeniyle bu etlerin tüketiminden dolayı memnuniyetsizlik ortaya çıkmıştır (Borghese, 2010). Bununla birlikte yeterli besleme yöntemleriyle istenilen özellikleri sağlayan kaliteli et üretimi gerçekleştirilebileceği önerilmiştir (Infascelli ve ark., 2004).

Avrupa'da ilk manda yetiştiren ülke İtalya'dır. İtalya Ulusal Zooteknik verilerine göre toplam 2208 çiftlikte 403093 baş hayvan manda yetiştirilmektedir. İtalya'daki manda ırkı İtalyan Akdeniz ırkına aittir. Mandalar süt üretimi amacıyla yetiştirilmektedirler

ve başta mozzarella peyniri olmak üzere diğer İtalyan peynirlerine (provola, scamorza, caciotta, caciocavallo vb.) işlenmektedirler. Ancak bu ülkedeki manda eti üretimi sınırlıdır, az sayıda üretici erkek buzağı yetiştiriciliği yapmaktadır (Tamburrano ve ark., 2019). İtalyan mandası ve simmental sığırlarının karkas özelliklerinin incelendiği bir çalışmada dörder adet erkek manda ve simmental sığırı kullanılmıştır (Spanghero ve ark., 2004). Bu çalışmada mandaların sığırlara göre daha yavaş büyüdükleri (930 g'a karşın 1040 g/gün canlı ağırlık artışı) belirlenmiştir. Ayrıca, mandaların vücut ve karkas uzunlukları sığırlardan daha kısa olduğu ancak karkas ağırlıkları bakımından benzer oldukları belirlenmiştir. Manda etlerinin renklerinin sığırlardan daha koyu kırmızı renkli ve yumuşak olduğu (manda ve sığır için sırasıyla, a\*=kırmızılık: 23,7'ye karşı 18,8; kopma kuvveti: 46,3'e karşı 68,8 N) görülmüştür.

#### 4.Manda Etinin Besleyici Özellikleri

Kırmızı etlerde önemli özelliklerinden birisi de başta protein olmak üzere besleyici madde içeriğidir. Etlerin besin madde içeriği, hayvanın genetiği, yaşı, yem ve kesim yaşına göre birçok faktöre bağlı olarak değişebilmektedir (Ulutaş ve ark., 2021; Marchello ve Driskell, 2001). Manda etlerinin sığır etlerine göre protein içeriğinin daha yüksek olduğunu bildiren çalışmalar olmakla birlikte, bazı çalışmalar (Ziauddin ve ark., 1994) manda etinin kimyasal bileşimi, sarkoplazmik ve miyofibriler protein içeriklerinin sığır etine benzediğini bildirmişlerdir. İtalya'da yapılan bir çalışmada, erkek mandaların Longissimus dorsi (LD) kasından alınan et örneklerinde protein oranının sığırlardan daha yüksek olduğu (%21,13 ham protein), ayrıca her 100 g et için toplam serbest amino asit içeriğinin 155,79 ila 181,78 mg arasında değiştiği bildirilmiştir (Landi ve ark., 2016). Ziauddin ve ark., (1994) manda eti lizin bakımından sığır etine göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Taze manda eti nem oranı %74,04 ila 77,75% arasında değişmektedir (Naveena ve Kiran, 2014; Ziauddin ve ark., 1994; Anjaneyulu ve ark., 1985). Aksoy ve ark. (2001) farklı CA'ta (200 ila 350 kg arasında) kesilen erkek Anadolu mandalarında LD kasında ölçülen % kuru madde (KM 25,71-26,02 arasında), kül (0,88-0,96 arasında), 24. saatteki pH (5,31-5,35 arasında), et rengi ve su tutma kapasitesinin önemli derecede farklılık göstermezken; etin ham protein değerinin azalırken (22,10-23,13) yağ oranının arttığını (1,79-3,01 arasında) tespit etmişlerdir.

Yağdaki karotenler et yağının sarı renkli olmasına neden olur ve manda yağında karoten bulunmamaktadır. Manda eti daha yüksek protein, az yağ ve düşük kolesterol içermektedir (Joksimovic ve Ognjanovic, 1977; Kandeepan ve Biswas, 2007). Ziauddin ve ark. (1994) kesim sonrası manda etlerini depolama sıcaklığı arttıkça ette pH değerinin düşüşünün daha hızlı olduğunu ve stresli hayvanlardan elde edilen etlerde pH değerinin daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Valin ve ark. (1984), manda etlerinin sığır etlerine göre daha düşük pH'ya sahip olduğu, daha az kollojen içerdikleri ve ancak manda ve sığır etlerinin kas içi kollojen yapılarının önemli ölçüde farklılık göstermediğini belirlemişlerdir.

Kırmızı etlerin bileşimi; etin görünümü, sertliği, sulu olması ve duyuşal özellikleri üzerine etki edebilmektedir (Suleman ve ark., 2020). Etlerdeki mermerleşme diye tabir edilen yağların kas dokusu içindeki dağılımı, etin görünümünü ve sululuğunu etkilemektedir. Etlerdeki doymuş yağ asitlerinin oranının yüksek oluşu damar sertliğine neden olabilir (Nordoy ve Goodnight, 1990) düşüncesiyle istenmemektedir. Yüksek miktarda doymuş

yağ asidi içeriğine sahip yağlı etler gevşekliği nedeniyle de tercih edilmeyebilir. Diğer yandan etlerin omega-3, EPA, DHA ve konjuge linoleik asit (CLA) yağ asitlerince yüksek olması durumunda sağlık için önemli faydalar sağlayabildiğinden tüketici tercih edilme oranı artabilir (Giordano ve ark., 2010). Dimov ve ark. (2012) etteki lipidlerin yağ asidi içeriğini incelemek için bir yıl süreyle aynı yemlerle beslenen manda malağı ve sığır buzağlarının LD kasının incelenmesinde sığırlara kıyasla manda etinde daha yüksek oranda kuru madde, ham yağ ve ham protein tespit etmişlerdir.

Erkek mandalarda farklı kesim ağırlığının (200, 250, 300 ve 350 kg) yağ asitleri üzerine etkileri ile ilgili yapılan bir çalışmada (Aksoy ve ark., 2021) erkek mandalarda kesim ağırlığı arttıkça MUFA oranının arttığı, PUFA/SFA oranının azaldığı, C18:1 yağ asidi oranının arttığı ve C18:3 oranının azaldığı ve diğer yağ asitleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olmadığı saptanmıştır.

Yapılan çalışmalarda manda karkaslarının farklı bölgelerinden alınan et örneklerinin besin madde ve yağ asidi içeriklerinin farklı olduğu belirlenmiştir (Sharma ve ark., 1986; Calabrò ve ark., 2014). Vücudun farklı bölgelerdeki kaslarda tespit edilen yağ asidi içeriği bakımından karşılaştırıldığında kas içi yağların %44-55'inin doymuş yağlardan stearik ve palmitik asit oluşturduğu görülmüştür. Tekli doymamış yağ asitlerin (MUFA) %31-40 arasında olduğu ve bu asitlerin %90'ının oleik asitten meydana geldiği tespit edilmiştir. Çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) bakımından PM, LD, Longissimus semitendinosus (ST) ve Biceps femoris (BF) kasları içeriklerinin sırasıyla, %11, 12, 13 ve 16 olduğunu ve dominant PUFA yağ asitlerinin sırasıyla linoleik (%66) ve araşidonik (%25) olduğu belirlenmiştir (Sharma ve ark., 1986). Ayrıca yapılan bir çalışmada (Calabrò ve ark., 2014) Akdeniz mandaların beslenmesinde kullanılan farklı protein kaynaklarının (bakla ve soya) etteki besin madde kompozisyonunu etkilediğini, bakla ile beslenen mandaların etlerinde yağ, protein, kolesterol ve doymuş yağ asidi oranının önemli derecede düşük bulunduğunu bildirmişlerdir. Aynı zamanda bu hayvanlarda analiz edilen kaslar arasında LD, ST ve PM kasları arasında önemli farklılıklar olduğu ve ST kaslarının düşük doymuş yağ asidi (SFA) ve yüksek PUFA, MUFA, omega-3, omega-6 ve CLA olduğunu bulmuşlardır. Sığır ve manda ST ve LD kas dokusundaki yağ asitlerinin bileşimi karşılaştırıldığı bir çalışmada, manda ST kası daha yüksek n-6 ve n-3 yağ asidi içeriğine sahip olduğu ve hem sığır ve hem de manda dokuları düşük n-6: n-3 yağ asidi oranına sahip olup, insan beslenmesinde yeterli ve dengeli yağ asidi sağlayacağını belirtmişlerdir (Betancourt ve ark., 2009).

Rao ve Kowale (1991) manda etlerinde doymuş yağ asitlerinden palmitik, stearik, oleik ve linoleik asitlerin olduğunu bildirmişlerdir. Nehir mandaları etinin, zebu sığırı etine kıyasla daha yüksek miktarda konjuge linoleik asit (1.83 mg/g yağ asidine karşı 1.47 mg/kg) içerdiği bildirilmiştir (Mendoza ve ark., 2005). Giordano ve ark. (2010), manda etinin daha düşük ateriyosklerotik (damarsertliği) yükü ve oksidatif strese duyarlılık dahil olmak üzere kalp hastalıkları risk profili açısından önemli faydalar sağlayabileceğini göstermiştir.

İtalyan mandası ve simmental sığırlarının karkas özelliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada manda kas içi yağında stearik asit içeriği, SFA ve n6-PUFA/n3-PUFA oranı sığırlara göre daha yüksek (sırasıyla % 21,5 ve % 14,4; % 44,4'e karşı % 36,9 ve 16,7'ye karşı 12,3) ve MUFA oranı düşük



(%18,6'ya karşı %28,6) olarak saptanmıştır. Manda ve sığır etinin genel kabul edilebilirliği önemli ölçüde farklılık göstermemiş, ancak sığır etinin yumuşaklığı manda etinden önemli ölçüde daha iyi bulunmuştur. Bunun aksine, tüketiciler pişmiş manda etlerinin lezzetini, duyuşal özellikleri ve genel kabul edilebilirliğinin yüksek olduğunu ve daha yüksek memnuniyet puanları verdikleri görülmüştür (Spanghero ve ark., 2004).

Dimov ve ark. (2012) dişi sığır ve manda etleri karşılaştırıldığında, manda etlerinin daha düşük oranda doymuş yağ asitlerine sahip olduğu, daha yüksek oranda stearik asit ve daha düşük palmitik ve miristik asit olduğunu saptamışlardır. Mandalar sığırlara kıyasla n-6/n-3 oranı (7,00) ile iyi kaliteli et üretmişler, gruplar arasında toplam PUFA miktarı farklılıklarının ihmal edilebilir düzeyde olduğunu bildirmişlerdir.

Uriyapongson (2013) manda ve sığır etlerinin temel niteliklerinin (kas pH'sı (5.4), soğutma firesi (2%), nem (76.6%), protein (19%) ve kül (1%)) benzer olduklarını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, manda yağının beyaz renkli olduğu ve manda etinin sığır eti ile karşılaştırıldığında daha fazla pigmentasyon ve daha az kas içi yağ nedeniyle sığır etinden daha koyu renkte olduğunu göstermişlerdir. Duyusal analiz paneli testleri ve yumuşaklık ölçümleri, nehir manda etinin sığır etine benzer olduğunu göstermişlerdir. Mandalarda bağ dokusu daha geç yaşta sertleşerek manda eti kalitesini iyileştirdiğinden sığır etine göre yumuşaklığını daha ileri bir yaşa kadar koruyabilir. Manda etleri ile ilgili kriterler farklı konsantre ve kaba yemlerle beslenmesi suretiyle değiştirilebilir. Örneğin, Uriyapongson (2007) (naklen Rakiat, 2008) iki farklı merada otlayan mandaların et kalitesinde önemli farklılıklar meydana geldiğini ve iyi bir merada otlatmanın etin kimyasal yapısı bakımından daha iyi olduğunu, daha düşük trigliserit ve omega 6:3 oranına sahip olduğunu ve tüketilme kalitesini (çiğneme sertliği ve sululuğu) iyileştirdiğini bildirmiştir.

Sompratana (2008, Uriyapongson, 2013'ten naklen), 350 gün boyunca 203 kg'lık mandalarda vücut ağırlığının %1,5 ve %2'si oranında konsantre yem verilmesinin etkisini araştırdıkları bir çalışmada, CA'nın %2'si kadar kesif yem verilen mandalarda et kalitesinin daha iyi olduğunu ve %1,5 kesif yem verilenlere göre daha düşük kollojen içerdiğini, kopma mukavemeti ve TBARS değerlerinin azalttığını bildirmiştir.

Uriyapongson (2007) manda etinin %74-78 su, %18-24 protein, %1-3 yağ ve %1-2 kül içerdiğini bildirmiştir. Manda yaşlandıkça manda etindeki su oranı azalır, protein ve yağ oranı artar. Manda eti düşük kolesterol ve trigliserit içerir (sırasıyla sadece 56,9 mg/100 g kolesterol ve 1,15 g/100 g trigliserit). Manda etinde ayrıca insan sağlığı için önemli olan omega-6 ve omega-3 bulunur. Manda etindeki omega-6 ve omega-3, toplam yağın %9,50 ve %1,49'udur (Ziauddin ve ark., 1994).

Vitaminler insan vücudu için esansiyel bileşenlerden birisidir ve önemli bir kısmı yiyeceklerle dışarıdan alınmasının gerekliliği gayet iyi bilinmektedir. Yapılan bir çalışmada, 100 gr taze manda etinde 0,045 mg vitamin B1, 0,253 mg vitamin B6, 2,131 mg vitamin B12, 0,848 mg vitamin A, 0,060 mg vitamin E ve 25,464 mg selenyum olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, manda etinde belirlenen vitamin düzeyleri, vitamin A hariç, sığır, domuz, piliç ve hindi etlerinden düşük bulunmuştur. Araştırmacılar manda etindeki, bu düşük vitamin içeriğinin yemleme ile ilgili olduğunu ve üreticilerin manda yemlerine yeterli miktarda vitamin mineral karması katmaları gerektiğini bildirmişlerdir (Driskell ve ark., 1997).

## 5.Manda Eti Üretim ve Tüketimini Artırma Yolları

Manda üretimindeki bazı önemli sorunlar arasında azalan manda sayısı, üreme sorunları, yetersiz beslenme ve yetersiz hayvan sağlığı hizmetleri ve yönetim uygulamaları yer almaktadır. Daha büyük bir toplum kesimine ulaşmak için manda etinin farkındalığını ve popülerliğini artırmaya yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Manda eti daha lifli, daha koyu, kaba ve daha az hassas olarak kabul edilir. Mandaların dünya çapında birçok ülkede evcilleştirilmesine ve manda etinin yaygın olarak tüketilmesine rağmen, bazı gelişmiş ülkelerde manda hala yabani bir hayvan olarak kabul edilmekte ve etleri av eti altında sınıflandırılmaktadır (Naveena ve Kiran, 2014). Manda etine talebin oluşturulabilmesi için bu çalışmada bahsedilen yargıların değiştirilmesi ve olumlu bakış açısının sağlanması gereklidir.

Bir kısım mandalar uzun yıllardır yük hayvanı olarak kullanıldıklarından kas gelişimleri oldukça ileri düzeyde ve sertleşmiştir ve dolayısıyla et kalitesi düşük olarak algılanmaktadır. Mandalar yağsız hayvanlardır ve benzer yoğun yemlerle beslenen sığır karkaslarına göre deri altında bulunan kabuk yağı dokuları daha azdır (Desmond, 1990). Yağ dağılımının dengesiz olması ve yağ azlığı etlerde sertliğin diğer bir sebebidir. Bununla birlikte, yağsız karkas verimi nedeniyle de yağsız et tüketimi tercih eden tüketiciler için talep oluşturabilir. Mandaların çoğu, üretkenlik veya çalışma ömürlerinin sonunda kesilir ve etleri koyu renkli, kaba ve serttir. Bu nedenle yapılacak çalışmalarda genç hayvanların besiyeye alınarak et amaçlı olarak kullanılmasıyla et kalitesi artırılarak tüketiciye sunulmalıdır. Dişi mandalar genellikle süt üretimi için yetiştirilir ve manda yetiştiricilerinin çoğu erkek buzağuları ihmal ederek ölmelerine izin vermektedirler (Naveena ve Kiran, 2014). Süt üretim amacıyla yetiştirilen dişi mandaların verim dönemleri sonunda ileri yaşlarda kesilmeleri et kalitesinde azalmaya neden olarak tüketici tercihini azaltan diğer faktör olarak bildirilmektedir. Eğer toplam manda sayısı artırılarak seleksiyon ve ayıklama yoluyla düşük verimli ve üreme problemleri olan dişilerin erken dönemde besiyeye alınarak yaşlanmadan kesime sevkleri ile kaliteli etler elde edilebilir. Belirli etçi manda ırklarının geliştirilmesi ve erkek buzağularının besiyeye alınmaları, sürdürülebilir et üretimini artırabilecektir. Manda eti, yetiştiriciye avantajları olan, değeri artacak çeşitli katma değerli ürünlere dönüştürülebilir ve pazarda kendi nişleri olan bir dizi tipik ürün yaratılabilir.

Sonuç olarak; mandalar bazı kutsal kabul edilen hayvanlar grubunda olmadığı için etlerinin üretimi ve tüketiminin de dini açıdan da bir kısıtlama bulunmamaktadır. Bu nedenle herkes tarafından tüketilebileceğinden yaygın tüketimi artırılabilir. Diğer yandan bu zaman kadar yapılan çalışmalar, sığırlar gibi mandalara et yönünde bir seleksiyon olmadığını göstermiştir. Mandalar için ıslah çalışmalarının azlığı dikkate alınarak araştırma ve geliştirme sayılarının artırılması ve desteklenmesi sağlanmalıdır. Toplumda manda eti bilinirliği ve tüketiminin yaygınlaştırılmasına ihtiyaç vardır. Aynı zamanda manda etinin katma değerli ürünlere kullanılarak ve özel manda et ürünleri oluşturularak üretici gelirleri artırılmalıdır. Bunun yanında devlet tarafından sağlanan manda yetiştirmeyi destekleme projelerinin sürdürülmesi ve politikaların da çiftçi lehine iyileştirilmesi gereklidir.

## 6.Kaynaklar

Abdolghafour B, Ahmad Saghir, 2014. Buffalo: a potential animal



- for quality meat production- A review. *Livestock Research International* **2**.
- Acebrón LB, Dopico DC, 2000. The importance of intrinsic and extrinsic cues to expected and experienced quality: An empirical application for beef. *Food Quality and Preference* **11**.
- Aksoy Y, Şahin A, Ulutaş Z, Uğurlutepe E, 2021. The effect of different slaughter weights on some meat quality traits of musculus longissimus dorsi thoracis of male Anatolian buffaloes. *Tropical Animal Health and Production* **53**.
- Anjaneyulu ASR, Sengar SS, Lakshmanan V, Joshi DC, 1985. Meat quality of male buffalo calves maintained on different levels of protein. *Buffalo Bulletin* **4**.
- Astuti T, Sari RM, Santoso U, 2019. The effectiveness of forage and balanced concentrate feeding on the nutritional values and performance of buffaloes. *Buffalo Bulletin* **38**, 285–290.
- Banović M, Grunert KG, Barreira MM, Fontes MA, 2009. Beef quality perception at the point of purchase: A study from Portugal. *Food Quality and Preference* **20**.
- Betancourt L, Bustamante CA, Díaz GJ, 2009. Determination of the fatty acid composition in selected beef and buffalo tissues. *Livestock Research for Rural Development* **21**.
- Bonnet C, Bouamra-Mechemache Z, Réquillart V, Treich N, 2020. Viewpoint: Regulating meat consumption to improve health, the environment and animal welfare. *Food Policy* **97**, 101847.
- Borghese A, 2010. Development and perspective of buffalo and buffalo market in Europe and Near East. *Revista Veterinaria* **21**.
- Borghese A, 2013. Buffalo livestock and products in Europe. *Buffalo Bulletin* **32**.
- Calabrò S, Cutrignelli MI, Gonzalez OJ *et al.*, 2014. Meat quality of buffalo young bulls fed faba bean as protein source. *Meat Science* **96**.
- Charles DD, 1982. Meat tenderness and palatability of Swamp buffalo and four breeds of cattle. *Animal Production* **34**.
- Daghir N, Diab-El-Harake M, Kharroubi S, 2021. Poultry production and its effects on food security in the Middle Eastern and North African region. *Journal of Applied Poultry Research* **30**, 100110.
- Dimov K, Kalev R, Tzankova M, Penchev P, 2012. Fatty-acid composition of the lipids in m. longissimus dorsi of bovine and buffalo calves and buffalo cows. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* **18**.
- Duru S, Sak H, 2017. Türkiye’de Besiye Alınan Simmental, Aberdeen Angus, Hereford, Limousin ve Charolais Irkı Sığırların Besi Performansı ve Karkas Özellikleri. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi* **5**, 1383–1388.
- FAOStat, 2019. Food and Agricultural Organization. Animal Production Data. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL> Access:15.02.2021, 1–227.
- Giordano G, Guarini P, Ferrari P, Biondi-Zoccai G, Schiavone B, Giordano A, 2010. Beneficial impact on cardiovascular risk profile of water buffalo meat consumption. *European Journal of Clinical Nutrition* **64**.
- Giuffrida-Mendoza M, de Moreno LA, Huerta-Leidenz N *et al.*, 2015. Cholesterol and fatty acid composition of longissimus thoracis from water buffalo (*Bubalus bubalis*) and Brahman-influenced cattle raised under savannah conditions. *Meat Science* **106**.
- Infacelli F, Gigli S, Campanile G, 2004. Buffalo meat production: Performance infra vitam and quality of meat. *Veterinary Research Communications* **28**.
- Irurueta M, Cadoppi A, Langman L, Grigioni G, Carduza F, 2008. Effect of aging on the characteristics of meat from water buffalo grown in the Delta del Paraná region of Argentina. *Meat Science* **79**.
- Joksimovic J, Ognjanovic A, 1977. Comparison of carcass yield, carcass composition and quality characteristics of buffalo meat and beef. *Meat Science* **1**.
- Kandeepan G, Anjaneyulu ASR, Kondaiah N, Mendiratta SK, Lakshmanan V, 2009. Effect of age and gender on the processing characteristics of buffalo meat. *Meat Science* **83**.
- Kandeepan G, Biswas S, 2007. Effect of low temperature preservation on quality and shelf life of buffalo meat. *American Journal of Food Technology* **2**.
- Kandeepan G, Mendiratta SK, Shukla V, Vishnuraj MR, 2013. Processing characteristics of buffalo meat-a review. *Journal of Meat Science and Technology* **1**.
- Kiran M, Naveena BM, Reddy KS *et al.*, 2016. Understanding tenderness variability and ageing changes in buffalo meat: Biochemical, ultrastructural and proteome characterization. *Animal* **10**.
- Kul E, Filik G, Şahin A, Çayiroğlu H, Uğurlutepe E, Erdem H, 2018. Effects of Some Environmental Factors on Birth Weight of Anatolian Buffalo Calves. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* **6**.
- Lambertz C, Panprasert P, Holtz W *et al.*, 2014. Carcass characteristics and meat quality of swamp buffaloes (*bubalus bubalis*) fattened at different feeding intensities. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **27**.
- Landi N, di Giuseppe AMA, Ragucci S, di Maro A, 2016. Free amino acid profile of *Bubalus bubalis* L. meat from the Campania region. *Revista Brasileira de Zootecnia* **45**.
- Lapitan RM, Del Barrio AN, Katsube O *et al.*, 2007. Comparison of carcass and meat characteristics of Brahman grade cattle (*Bos indicus*) and crossbred water buffalo (*Bubalus bubalis*). *Animal Science Journal* **78**.
- Li Q, Wang Y, Tan L *et al.*, 2018. Effects of age on slaughter performance and meat quality of Binlangjiang male buffalo. *Saudi Journal of Biological Sciences* **25**.
- Marchello MJ, Driskell JA, 2001. Nutrient composition of grass- and grain-finished bison. In: *Great Plains Research*.
- Mendoza G De, M., Moreno A De *et al.*, 2005. Occurrence of conjugated linoleic acid in longissimus dorsi muscle of water buffalo (*Bubalus bubalis*) and zebu-type cattle raised under savannah conditions. *Meat Science* **69**.
- Nanda AS, Nakao T, 2003. Role of buffalo in the socioeconomic development of rural Asia: Current status and future prospectus. *Animal Science Journal* **74**.
- Naveena BM, Kiran M, 2014. Buffalo meat quality, composition, and processing characteristics: Contribution to the global economy and nutritional security. *Animal Frontiers* **4**, 18–24.
- Neath KE, Del Barrio AN, Lapitan RM *et al.*, 2007. Difference in tenderness and pH decline between water buffalo meat and beef during postmortem aging. *Meat Science* **75**.
- Nordoy A, Goodnight SH, 1990. Dietary lipids and thrombosis. Relationships to atherosclerosis. *Arteriosclerosis* **10**.
- O’Quinn TG, Legako JF, Brooks JC, Miller MF, 2018. Evaluation of the contribution of tenderness, juiciness, and flavor to the overall consumer beef eating experience. *Translational Animal Science* **2**.
- Paleari MA, Camisasca S, Beretta G *et al.*, 1997. Comparison of the physico-chemical characteristics of buffalo and bovine meat. *Fleischwirt. Intern.* **6**.
- Ranjhan SK, 2013. Latest concepts in rearing buffaloes for meat

- production. *Buffalo Bulletin* **32**.
- Rao VK, Kowale BN, 1991. Changes in phospholipids of buffalo meat during processing and storage. *Meat Science* **30**.
- Rashad AMA, EL-Hedainy DK, Mahdy AE, Badran AE, El-Barbary ASA, 2019. Utilization of live body weight, measurements, and eye muscle components to predict carcass performance of fattened Egyptian male buffalo calves. *Tropical Animal Health and Production* **51**.
- Robertson J, Ratcliff D, Bouton PE, Harris P V., Shorthose WR, 1986. A Comparison of Some Properties of Meat from Young Buffalo (*Bubalus bubalis* and Cattle. *Journal of Food Science* **51**, 47–50.
- Sarwar M, Khan MA, Nisa M, Bhatti SA, Shahzad MA, 2009. Nutritional management for buffalo production. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **22**.
- Sharma N, Gandemer G, Goutefongea R, Kowale BN, 1986. Fatty acid composition of water buffalo meat. *Meat Science* **16**.
- Spanghero M, Gracco L, Valusso R, Piasentier E, 2004. In vivo performance, slaughtering traits and meat quality of bovine (Italian Simmental) and buffalo (Italian Mediterranean) bulls. *Livestock Production Science* **91**.
- Suleman R, Wang Z, Aadil RM, Hui T, Hopkins DL, Zhang D, 2020. Effect of cooking on the nutritive quality, sensory properties and safety of lamb meat: Current challenges and future prospects. *Meat Science* **167**, 108172.
- Tamburrano A, Tavazzi B, Callà CAM *et al.*, 2019. Biochemical and nutritional characteristics of buffalo meat and potential implications on human health for a personalized nutrition. *Italian Journal of Food Safety* **8**.
- Tateo A, De Palo P, Quaglia NC, Centoducati P, 2007. Some qualitative and chromatic aspects of thawed buffalo (*Bubalus bubalis*) meat. *Meat Science* **76**.
- Terramoccia S, Bartocci S, Amici A, Martillotti F, 2000. Protein and protein-free dry matter rumen degradability in buffalo, cattle and sheep fed diets with different forage to concentrate ratios. *Livestock Production Science* **65**.
- Uğurlu M, Kaya I, Saray M, 2016. Effects of some environmental factors on calf birth weight and milk yield of Anatolian Water Buffalo (*Bubalus bubalis*). *Bulgarian Journal of Agricultural Science* **22**.
- Ulutaş Z, Şahin A, Aksoy Y, Uğurlutepe E, 2021. Determination of slaughter and carcass traits in male Turkish Anatolian buffaloes at different slaughter weights. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* **45**.
- Uriyapongson J, 2007. Comparison and improvement of chemical and physical characteristics of low- fat ground beef and buffalo meat patties at frozen storage. *Italian Journal of Animal Science* **6**.
- Uriyapongson S, 2013. Buffalo and buffalo meat in Thailand. *Buffalo Bulletin* **32**.
- Valin C, Pinkas A, Dragnev H, Boikovski S, Polikronov D, 1984. Comparative study of buffalo meat and beef. *Meat Science* **10**.
- Wanapat M, Kang S, 2013. World buffalo production: Challenges in meat and milk production, and mitigation of methane emission. *Buffalo Bulletin* **32**.
- Yılmaz Adkinson A, Konca Y, 2021. Sütçü Manda Irklarının Performans ve Verimliliğini Etkileyen Faktörler ve Türkiye'deki Geleceği. *European Journal of Science and Technology* **25**, 498–508.
- Ziauddin S, Mahendrakar K, Rao NS, Ramesh DN, B. S. Amla BL, 1994. Observations on some chemical and physical characteristics of buffalo meat. *Meat Science* **37**, 103–113.



# Tarım Bilimlerinde Paradigma Değişimi: Endüstriyel Tarım ve Küresel Adalet Sorunu

Recep Külcü<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7185-6514), [recepkulcu@isparta.edu.tr](mailto:recepkulcu@isparta.edu.tr)

<sup>2</sup> Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Felsefe ABD (Yüksek Lisans ve Doktora), Antalya, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 2 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1003757)

**ATIF/REFERENCE:** Külcü, R. (2021). Tarım Bilimlerinde Paradigma Değişimi: Endüstriyel Tarım ve Küresel Adalet Sorunu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 429-433.

## Öz

Endüstriyel tarım, tarımda verimliliği arttırmaya konsantre olmuş ve bu hedef doğrultusunda farklı teknik ve teknolojilerin kullanıldığı bir tarım yöntemini ifade etmektedir. Yirminci yüzyılın ikinci yarısından itibaren dünyanın büyük tarımsal üreticileri geleneksel tarımdan endüstriyel tarım yöntemlerine geçiş yapmışlardır. Endüstriyel tarımda geleneksel yöntemlerden farklı olarak verimliliği arttıran uygulamalar; kimyasal gübreler, tarım ilaçları, yeni ıslah teknikleri, genetiği değiştirilmiş organizmalar ve tarımda ileri teknoloji kullanımı olarak sıralanabilir. Bu uygulamaların bitkisel üretimde birim alandan alınan ürün miktarını ve hayvancılıkta et, süt ve yumurta verimlerini arttırdığı bir gerçektir. Endüstriyel tarım uygulamalarını kullanan üreticiler ve küresel tarım şirketleri amaçlarının; dünyada gıda talebini karşılamak ve doğal kaynakların tüketimini azaltmak olarak ileri sürmektedirler.

Günümüzde verimlilikte ve toplam üretim miktarlarında sağlanan onca artışa rağmen dünyada açlığın azalmadığı, buna karşın kaynakların dağılımındaki adaletsizliğin arttığı gözlenmektedir. Örneğin Birleşmiş Milletler Tarım Ajansı (FAO) istatistiklerine göre 1961-2018 yılları arasında ABD'de kişi başına yıllık et ürünleri tüketimi yılda 88-123 kg iken bu değer AB'de 51-84 kg ve az gelişmiş ülkelerde ise 9-13 kg arasında değişmektedir. Bitkisel ürünlerde de dağılım benzer seviyelerdedir. Bu veriler ışığında endüstriyel tarımın ortaya çıkardığı artı değer ile gelişmiş ülkeleri pazar haline getirdiği açığa çıkmaktadır.

Bu çalışmada, tarım tarihinde gerçekleştirilen bilimsel gelişmeler sonucunda yeni bir paradigma olarak karşımıza çıkan endüstriyel tarım ve onu geliştiren küresel tarım sisteminin, tarımsal üretimde meydana getirdiği dönüşümler ve küresel gıda dağılımında yarattığı sorunlar incelenmiştir. Endüstriyel tarımın gelişmesiyle birlikte tarım, küresel sistem için farklı bir sermaye kaynağına dönüşmeye başlamıştır. Yeni paradigma dünya üzerinde gıda ürünlerinin paylaşımı bağlamında küresel bir adalet sorununu ortaya çıkartmıştır. Mevcut paradigmanın aynı eksenle ilerlemesi durumunda dünyada açlık sorununun ortadan kaldırılamayacağı, aksine derinleştireceği açıktır. Bu nedenle, endüstriyel tarımla birlikte sağlanan ilerlemelerin yanında ürünlerin adil dağılımı ve doğal kaynakların korunması hassasiyetlerinin göz önünde bulundurulması, insanlığın uygarlık değerlerinin yükseltilmesi ve tüm insanlar için daha adil bir dünyanın ortaya çıkartılabilmesi açısından önem taşımaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstriyel Tarım, Tarım Tarihi, Küresel Tarım, Etik, Küresel Adaletsizlik.

## Paradigm Shift in Agricultural Sciences: Industrial Agriculture and the Problem of Global Justice

### Abstract

Industrial agriculture focuses on increasing productivity in agriculture and refers to an agricultural method in which different techniques and technologies are used in line with this goal. Since the second half of the twentieth century, the world's major agricultural producers have switched from traditional farming to industrial farming methods. Applications that increase productivity unlike traditional methods in industrial agriculture; chemical fertilizers, pesticides, new breeding techniques, genetically modified organisms and the use of advanced technology in agriculture. It is a fact that these practices increase the amount of product taken from the unit area in plant production and the meat, milk and egg yields in animal husbandry. Producers and global agricultural companies using industrial agricultural practices; They argue that meeting the food demand in the world and reducing the consumption of natural resources.

Today, despite all the increases in productivity and total production, it is observed that hunger in the world has not decreased, but the injustice in the distribution of resources has increased. For example, according to the statistics of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), while the annual per capita consumption of meat products was 88-123 kg in the USA

\* Sorumlu Yazar: [recepkulcu@isparta.edu.tr](mailto:recepkulcu@isparta.edu.tr)

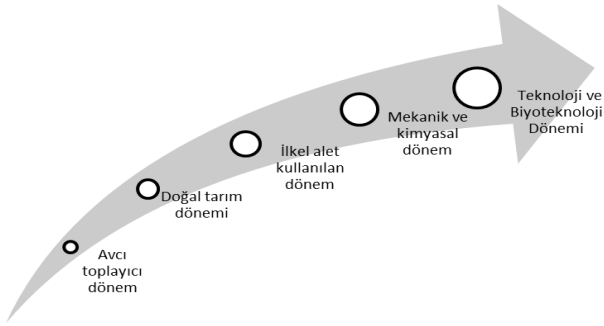
between 1961 and 2018, this value varies between 51-84 kg in the EU and 9-13 kg in underdeveloped countries. Distribution in herbal products is at similar levels. In this context, industrial agriculture has turned developed countries into markets with the added value it has created.

In this study, industrial agriculture, which emerged as a new paradigm as a result of scientific developments in the history of agriculture, and the global agricultural system that developed it, the transformations in agricultural production and the problems it created in global food distribution were examined. With the development of industrial agriculture, agriculture has begun to transform into a different source of capital for the global system. The new paradigm has revealed a global justice problem in the context of the sharing of food products around the world. It is clear that if the current paradigm advances on the same axis, the problem of hunger in the world will not be eliminated, on the contrary, it will deepen. For this reason, it is important to consider the sensitivities of the fair distribution of products and the protection of natural resources, as well as the progress made with industrial agriculture, in order to raise the civilizational values of humanity and to create a fairer world for all people.

**Keywords:** Industrial Agriculture, History of Agriculture, Global Agriculture, Ethics, Global Injustice.

## 1. Giriş

Tarım devrimi günümüzden yaklaşık 10 000 yıl önce bazı bitki türlerinin kültüre alınması ve hayvanların evcilleştirilmesiyle başlamıştır (Toffler, 2008: 22). Tarım devrimiyle birlikte insanlar toplum hayatına geçmişler ve küçük yerleşim alanlarında tarımsal üretim gerçekleştirmeye başlamışlardır. Tarım devriminden günümüze kadar tarımsal üretim farklı aşamalardan geçmiştir. Bu aşamalar Şekil 1’de gösterildiği gibi gruplandırılabilir (Külcü, 2021: 5; Kayacan vd., 2021; 681)



Şekil 1. Tarım Bilimlerinin Evrimi

Avcı-toplayıcı dönemde insanlar doğaya müdahale etmeden onun kendisine sunduğu besinleri toplayarak veya hayvanları avlayarak gıda ihtiyacını karşılamaktaydı. Bu dönemde henüz tarım devrimi gerçekleştirilmemiştir fakat tarım devrimini gerçekleştirmek için gerekli olan bilgi ve tecrübe bu dönemde edinilmiştir. Doğal tarım döneminde insanlar doğaya çok fazla müdahale etmeden, belirli alanlarda tohumları ekmiş ve tarımsal üretimi başlatmıştır. Bu dönem tarım devriminin başlangıcı olarak kabul edilebilir. İlkel alet kullanılan dönemde insanlar tarımsal üretim için doğaya müdahaleler yapmaya başlamış ve toprağın tohum gelişimi için uygun hale getirilmesi için ilkel toprak işleme aletleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemde temel güç kaynağı olarak insan ve hayvan gücü kullanılmıştır. Mekanik ve kimyasal dönem sanayi devrimi sonrasında tarımda termik motorların kullanıldığı, özel tarım makinelerinin geliştirildiği, bitki besleme ve bitki koruma kimyasallarının kullanılmaya başlandığı dönemi ifade etmektedir. Teknoloji ve biyoteknoloji dönemi ise tarımda bilişim sistemlerinin kullanıldığı, radyasyon ıslahı ve genetiği değiştirilmiş organizmaların geliştirildiği tarım dönemine karşılık gelmektedir. Tarım bilimlerinin gelişimini ifade eden bu dönemlerden mekanik ve kimyasal dönem, endüstriyel tarıma geçişin olduğu aşamadır ve birinci yeşil devrim olarak adlandırılmaktadır. Teknoloji ve biyoteknoloji dönemi ise ikinci yeşil devrimin gerçekleştirildiği aşamadır.

## 2. Yeşil Devrim ve Endüstriyel Tarımın Gelişimi

Endüstriyel tarım uygulamaları için yeşil devrim ifadesinin kullanılması 1940’lı yıllarda başlamıştır. Rockefeller Vakfı ve Meksika hükümetinin 1943 yılında özel çalışmalar ofisini kurması bu ofiste yeni buğday ve mısır çeşitleri geliştirilmesiyle yeşil devrimin ilk adımları atılmıştır. Bu ofis 1963 yılında CIMMYT (Uluslararası Mısır ve Buğday Geliştirme Merkezi) adını almıştır. Bitkilerde gerçekleştirilen bu çalışmalar hayvancılıkta ıslah ve GDO (Genetiği Değiştirilmiş Organizma) faaliyetleri olarak gerçekleşmiştir. Yirminci yüzyılın sonlarında tarımda “İkinci Yeşil Devrim” adı verilen dönüşüm gerçekleşmiştir. Bu devrimle, canlılar arasında gen transferleri olarak adlandırılan GDO (Genetiği Değiştirilmiş Organizma) çalışmaları başlamıştır (Atalık, 2010: 4; Şahinöz, 1980: 234; Nur vd., 2016)

### 2.1. Endüstriyel Tarımda Verim Artışı

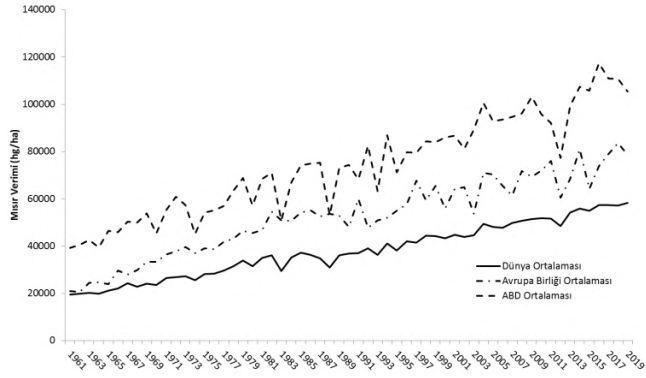
Endüstriyel tarım birinci ve ikinci yeşil devrimle tarımda ürün çeşitliliğini ve üretim miktarlarını hızla arttırmıştır. Şekil 2 ve Şekil 3’de dünyada temel besin kaynağı olarak kabul edilen tahıllar olan buğday ve mısır bitkilerinin 1961-2019 yılları için verim değerlerindeki değişimler gösterilmiştir. Dünya ortalamasında 1961 yılında bir hektar tarım arazisinden 10889 hg (yaklaşık 1 ton) buğday alınabilirken, bu değer 2019 yılında 3.25 kat artarak 35468 hg (yaklaşık 3.54 ton) seviyesine yükselmiştir. Buğday verimleri 2019 yılında ABD’de bir hektar tarım arazisinden 34748 hg (yaklaşık 3.47 ton), Avrupa Birliği ülkelerinde 59802 hg (yaklaşık 5.97 ton) seviyelerine yükselmiştir.



Şekil 2. Buğday veriminin yıllara göre değişimi (FAO, 2021)

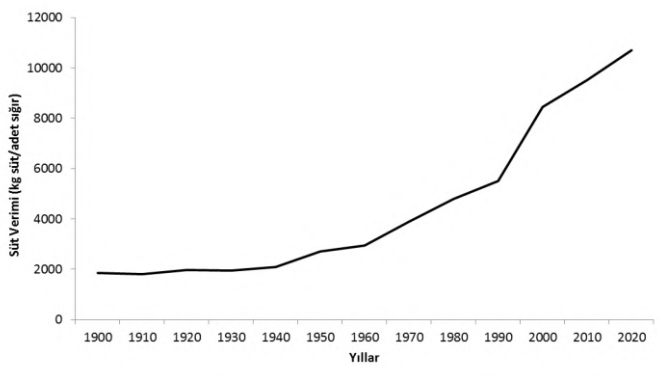


Dünyada mısır verimlerinde de buğdaya benzer artışların sağlandığı görülmektedir. Dünya ortalamasında bir hektar tarım arazisinden 1961 yılında 19432 hg (yaklaşık 1.94 ton) mısır üretilirken bu değer 2019 yılında 2.99 kat artarak 58238 hg (yaklaşık 5.82 ton) seviyesine yükselmiştir. 2019 yılında Avrupa Birliği Ülkelerinde bir hektar tarım arazisinden 78605 hg (yaklaşık 7.86 ton) ve ABD’de 105323 hg (yaklaşık 1.05 ton) mısır üretilmiştir.



Şekil 3. Mısır veriminin yıllara göre değişimi (FAO, 2021)

Endüstriyel tarım uygulamaları hayvancılık sektöründe de önemli değişiklikler gerçekleştirmiştir. Şekil 4’de Amerika Birleşik Devletleri’nde bir süt sığırından alınan süt miktarının yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri’nde bir süt sığırından 1900 yılında 2000 kg’dan daha az süt alınırken bu rakam 1970’li yıllarda iki katına çıkarak 4000 kg seviyelerine yükselmiş ve 2000 yılında 8000 kg’ın üzerine çıkmıştır. Günümüzde bir süt sığırından yılda alınan süt miktarı 10000 kg’ın üzerindedir.

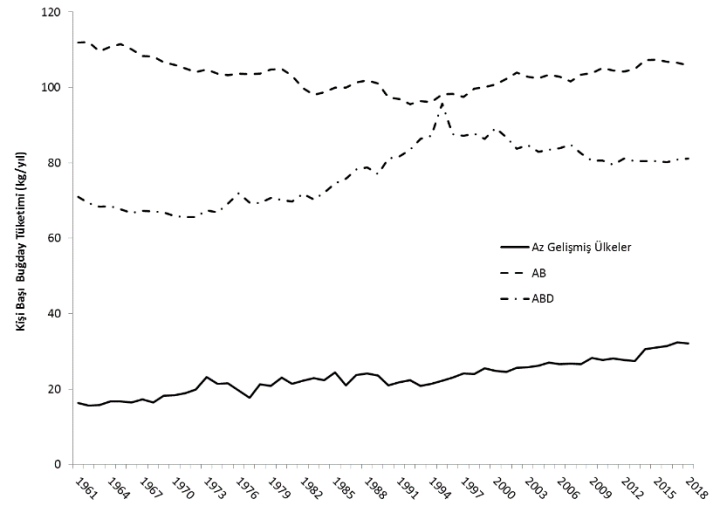


Şekil 4. Amerika Birleşik Devletlerinde süt sığırlarının yıllık süt verimleri (STATISCA, 2021; VandeHaar ve Pierre, 2006: 1280)

### 3. Dünyada Gıda Tüketim İstatistikleri ve Açlık Sorunu

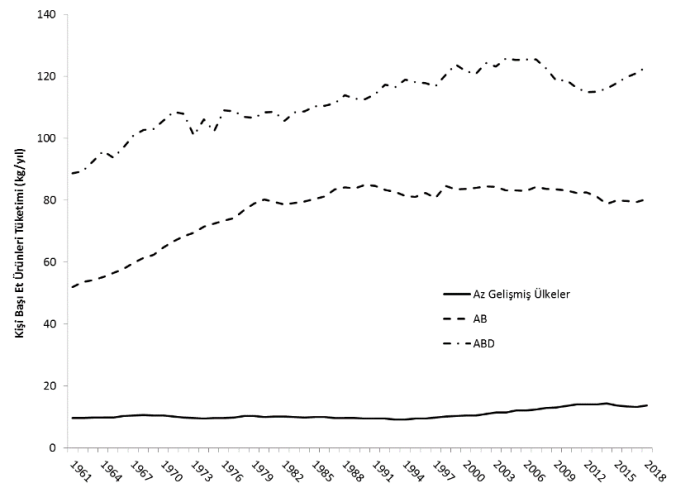
Buğday, mısır ve süt verimlerindeki artışların temel nedeni endüstriyel tarım uygulamalarıdır. Tarımsal üretim bağlamında endüstriyel tarımın hedeflerine ulaştığı ve verimliliği arttırmayı başardığı olgusal bir gerçektir. Fakat endüstriyel tarımın uyguladığı yöntemlerle artırılan tarımsal üretimin hangi amaçlarla kullanıldığı da tartışılması gereken bir durumdur. Tarımın temel amacı insanların gıda ihtiyaçlarının karşılanması, tekstil ve tarıma dayalı sanayi işlemleri için hammadde üretilmesidir. Şekil 5’de dünyada az gelişmiş ülkeler ile ABD ve Avrupa Birliğine üye ülkelerde yaşayan insanların günlük buğday ürünleri tüketiminin yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Kişi başına yıllık buğday ürünleri tüketimi az gelişmiş ülkelerde

15-32 kg aralığında değişirken bu tüketim değeri ABD’de 65-81 kg ve AB’de 97-111 kg aralığındadır. Buğday ürünleri tüketimi bağlamında az gelişmiş ülkelerde yaşayan insanlar ile ABD ve AB ülkelerinde yaşayan insanlar arasında ciddi bir farkın olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Kişi başına yıllık buğday tüketim miktarları (FAO, 2021)

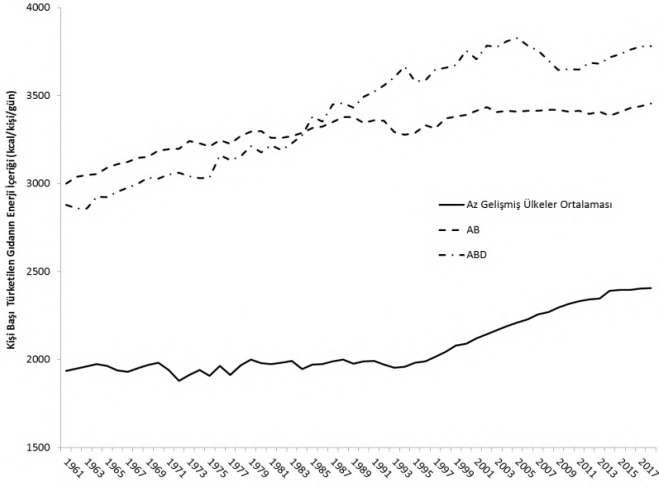
Şekil 6’da az gelişmiş ülkeler, ABD ve AB topraklarında yaşayan insanların yıllık et ürünleri tüketim miktarlarının yıllara göre değişimleri gösterilmiştir. Az gelişmiş ülkelerde yaşayan insanların yıllık et ürünleri tüketim miktarı ortalaması 9-13 kg arasında değişirken bu seviye AB’de 51-84 kg ve ABD’de 88-123 kg arasında değişim göstermiştir. Yıllık ortalama et tüketim miktarı seviyeleri az gelişmiş ülkeler ile ABD ve AB ülkeleri arasında ciddi bir uçurumun olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 6. Kişi başına yıllık et ürünleri tüketim miktarları (FAO, 2021)

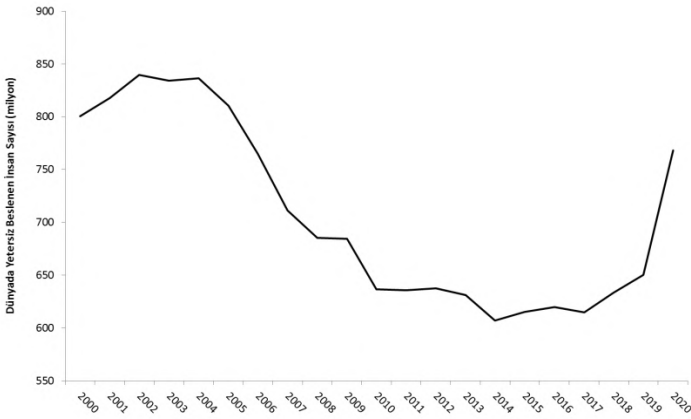
Şekil 7’de Az gelişmiş ülkeler, ABD ve AB üyesi ülkelerde yaşayan insanların bir günde aldıkları bütün gıdaların enerji içeriklerinin ortalamalarının değişimi gösterilmiştir. Az gelişmiş ülkelerde yaşayan insanların gıda yoluyla aldıkları günlük enerji ortalaması 1950-2407 kcal/kişi/gün aralığında değişirken, bu değer AB üyesi ülkelerde 3000-3450 kcal/kişi/gün ve ABD’de 3000-3800 kcal/kişi/gün seviyelerindedir. İnsanların metabolizma ve günlük faaliyetleri için ihtiyaç duydukları enerji miktarları 2250-2800 kcal/gün aralığındadır (Pardey vd., 2014: 578; Sayan, 1999). Dünyada besinlerden alınan günlük enerji değerlerinin ortalamaları incelendiğinde; az gelişmiş ülke

ortalamalarının sınırın biraz altında, ABD ve AB üyesi ülkelerin ortalamalarının ise sınırın üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum gelişmiş ülkelerde gıdanın yaşamsal bir ihtiyaç olmaktan çıktığı ve gereğinden fazla tüketim yoluyla obezite gibi sorunların kaynağı olduğuna işaret ederken, gelişmemiş ülkelerde açlık riskinin bulunduğunu göstermektedir. Ancak ortalama değerler içerisindeki standart sapmanın boyutu bu ortalama değerler içerisinde aç kalan insanların görünmesini zorlaştırmaktadır.



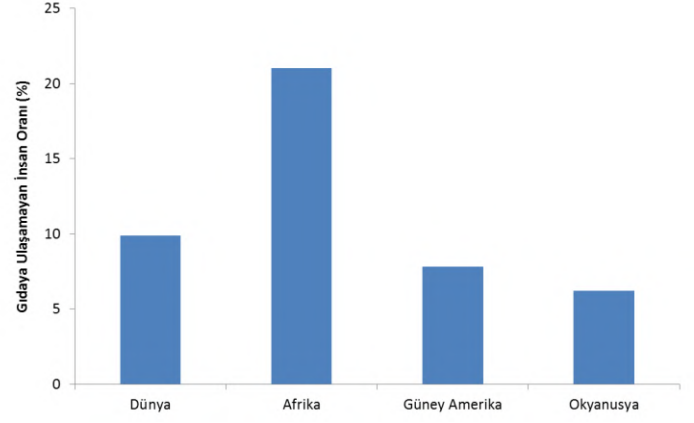
Şekil 7. Kişi başına günlük gıda yoluyla alınan enerji miktarları (FAO, 2021)

Şekil 8'de dünyada yetersiz beslenen insan sayılarının değişimi gösterilmiştir. Dünyada yetersiz beslenen veya besine ulaşamayan insan sayısı 2000 yılında 800 milyon seviyesindeyken bu rakam 2020 yılına kadar istikrarsız bir seyir izleyerek 768 milyon olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca 927 milyon insan gıdaya düzenli olarak ulaşamamaktadır. Dünyada gıda üretiminin artmasına rağmen yetersiz beslenen insan sayılarının kararlı bir şekilde azalmaması, açlıkla mücadele bağlamında bir iradenin tam olarak oluşmadığını göstermektedir.



Şekil 8. Dünyada yetersiz beslenen insan sayısının yıllara göre değişimi (FAO, 2021)

Şekil 9'da dünyanın farklı bölgelerinde gıdaya ulaşamayan yani açlık yaşayan insan oranları gösterilmiştir. Dünyada açlık yaşayan insan oranı %9.9'dur. Afrika'nın %21'i, Güney Amerika'da yaşayan insanların %7.8'i ve Okyanusya'da yaşayan insanların %6.2'si açlık içerisinde yaşamaktadır.



Şekil 9. Dünya'nın farklı kıtalarında gıdaya ulaşamayan insan oranları (FAO, 2021)

#### 4. Sonuç

Tarım insanlık tarihinde uygarlığın başlamasını sağlayan ve artan nüfusun besin ihtiyacını karşılayan bir faaliyet alanı olarak stratejik öneme sahiptir. Normatif etik kuramları içerisinde deontolojik bir yaklaşım ortaya konduğunda, tarımın evrensel görevinin insanlığın gıda ihtiyacının karşılanması olduğu söylenebilir. Teleolojik etik kuram açısından da tarımsal uygulamaların insanlığın çoğunluğunun faydası için yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Tarımsal üretim, günümüzden on bin yıl önce gerçekleşen tarım devriminden günümüze kadar birçok değişim ve dönüşüm göstermiştir. Tarımın gelişim süreci birim alandan alınan verimin artırılması doğrultusunda büyük ilerlemeler sağlamıştır. Bu ilerlemeler, tarım bilimleri alanında gerçekleştirilen teknolojik ve bilimsel çalışmaların katkısıyla ortaya çıkartılmıştır. Bu bağlamda tarım bilimleri alanında yapılan çalışmaların deontolojik ve teleolojik kuramlar açısından uygun olduğu söylenebilir. Yirminci yüzyılın ikinci yarısından itibaren gerçekleşen gelişmeler tarım sektöründe yeni bir paradigmanın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Yeni paradigma içerisinde endüstriyel tarım adı verilen bir üretim modeli yaygınlaşmaya başlamıştır. Yeni paradigma içerisinde üretim miktarları artırılırken, tarımın deontolojik bağlamda temel hedefi veya ödevi olan insanlığın gıda ihtiyacının karşılanması bağlamında etik bir sorununun ortaya çıktığı görülmektedir. Endüstriyel tarımın gelişmesiyle birlikte 2018 yılında kişi başına düşen gıdanın enerji miktarı 2929 kcal/kişi/gün seviyesine yükselmiştir (FAO, 2021). Bu rakam tarımsal üretimin, dünya üzerindeki tüm insanları doyuracak seviyeye ulaştığını ortaya koymaktadır. Buna rağmen dünyada yaşayan insanların %9.9'unun açlık içerisinde yaşıyor olması, gıda üretiminin dünyada açlık sorununu gidermek yerine, küresel tarım firmalarının sermaye miktarlarını artırma doğrultusunda gelişmiş ülkeleri pazar haline getirmeye yöneldiğini ortaya çıkartmaktadır. Birleşmiş Milletler Tarım Ajansı'nın istatistiksel verileri; insanlığın tarım devrimiyle kurduğu uygarlığı, mevcut küresel sistemde, yoksulluk ve açlık çeken insanları görmezden gelerek yükseltmeyi tercih ettiğine işaret etmektedir. Bu noktada endüstriyel tarım yöntemleri üzerinde şekillenen ve küresel tarım şirketlerinin yönlendirmesiyle ortaya çıkan yeni paradigmanın deontolojik ve teleolojik açıdan tarımın etik ilkelerine aykırı olduğu açıktır. Elbette yeni tarım teknik ve teknolojilerinin geliştirilmesi ile tarımda verimliliğin artırılması büyük bir öneme sahiptir. Fakat endüstriyel tarımla birlikte ortaya çıkan paradigmanın, dünya üzerinde yaşayan bütün insanların refahının artırılması ve tarımsal ürünlerin adil dağılımı

hassasiyetleri gözetilerek yeniden şekillendirilmesi daha etik ve sürdürülebilir bir dünya kurulması açısından büyük bir öneme sahiptir.

## Kaynakça

- Atalık, A. (2010). *İkinci Yeşil Devrim GDO'lar ve Sonrası Tufan. Görünmez Elin Ekolojisi Biyogüvenlik ve GDO*, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Ankara.
- FAO. (2021). *Agricultural Statistics*. Erişim Adresi: <http://www.fao.org/faostat/en/>. Erişim Tarihi: 12/09/2021.
- Kayacan, T., Özel, Y., Kayacan, B. (2019). Kente Kazandırılan Yeni Yaşam Alanları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 679-687.
- Külcü R. (2021). *Tarım Etiği Demokritos'tan Leopold'da İslahtan GDO'ya*. Nobel Bilim Yayınevi, İstanbul.
- Nur, G., Deveci, H., Kırpık, M. A. , Nur, Ö., Bağrıaçık, N. & Yıldız, Y. (2016). Sürdürülebilir Üretim Yaklaşımı: Ekolojik Tarım. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (2), 3-8.
- Pardey, P.G., Beddow, J.M., Hurley, T.M., Beatty, T.K.M. Eidman, V.R.. (2014). A Bounds Analysis of World Food Futures: Global Agriculture Through To 2050 *Aust. J. Agric. Resour. Econ.*, 58, pp. 571-589, 10.1111/1467-8489.12072
- Sayan, A. 1999. Beslenme Alışkanlıkları ve Temel Besin Gereksinimleri. *Atatürk Üniversitesi Hemşirelik Yüksekokulu Dergisi* 2 (2).
- STATISCA. (2021). Amerika Birleşik Devletlerinde süt üretim istatistikleri. Erişim adresi: <https://www.statista.com/statistics/194935/quantity-of-milk-produced-per-cow-in-the-us-since-1999/>, erişim tarihi: 09/09/2021.
- Şahinöz, A. (1990). Yeşil Devrim ve Açlık Sorunu . *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8 (1).
- Toffler, A. (2008). *Üçüncü Dalga*. (çev. S. Yeniçeri), Koridor Yayıncılık, İstanbul.
- VandeHaar, M. J. and StPierre, N. (2006). Major Advances in Nutrition: Relevance to the Sustainability of the Dairy Industry *Journal of Dairy Science*, Vol. 89 (4), 1280.



# Optical View of a Merging Galaxy Cluster: Abell 2254

Ebru Aktekin Çalışkan<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Süleyman Demirel University, Faculty of Art and Science, Department of Physics, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5904-4580), [ebrucaliskan@sdu.edu.tr](mailto:ebrucaliskan@sdu.edu.tr)

(First received 3 October 2021 and in final form 10 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1003968)

**ATIF/REFERENCE:** Aktekin Caliskan, E. (2021). Optical View of a Merging Galaxy Cluster: Abell 2254. *European Journal of Science and Technology*, (31), 434-440.

## Abstract

We present here the optical observations of a merging galaxy cluster ( $z=0.178$ ) Abell 2254 (A2254) observed by the TÜBİTAK-RTT150 Telescope in Antalya, Turkey. Its integrated CCD imaging results are reported.  $B$ ,  $V$ , and  $R$  brightness values are revealed for each member of the cluster, for the first time. We present the color magnitude diagram of A2254 for all galaxies. We found that the number of red galaxies is more than blue galaxies. We have obtained the galaxy luminosity function (GLF) using the  $B$  band data. Here, we aim to analyze the effects of major cluster mergers on galaxy properties for better understanding. We have seen that the GLF of Abell 2254 can be fitted with a single Schechter function in the  $B$  band. The best-fitting parameters of the Schechter function are the characteristic absolute magnitude in the  $B$  band  $M_B^* = 19.67_{-0.96}^{+0.84}$  mag, and the slope at the faint end of the GLF  $\alpha = -1.29_{-0.34}^{+0.23}$  for galaxies.

**Keywords:** Galaxies: clusters: individual: Abell 2254, galaxies: clusters. Galaxies: photometry, Luminosity function-galaxies-statistics.

# Birleşen Galaksi Kümesine Optik Bakış: Abell 2254

## Öz

Bu çalışmada, Antalya, Türkiye'de TÜBİTAK-RTT150 Teleskopu tarafından gözlemlenen birleşen gökada kümesinin ( $z=0.178$ ) Abell 2254 (A2254) optik gözlemleri sunulmuştur. Birleştirilmiş CCD görüntü sonuçları rapor edilmiştir. İlk kez kümenin her bir üyesi için  $B$ ,  $V$  ve  $R$  parlaklık değerleri belirlenmiştir. Kümeye ait tüm galaksiler için renk parlaklık şeması sunulmuştur. Kırmızı galaksilerin sayısının mavi galaksilerden daha fazla olduğu sonucunu bulduk.  $B$  band verilerini kullanarak gökada parlaklık fonksiyonunu (GLF) elde ettik. Burada amaç büyük küme birleşmesinin galaksi özellikleri üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılmasıdır. Abell 2254'ün GLF'sinin  $B$  bandında bir Schechter fonksiyonu ile uyduğu görüldü. Schechter fonksiyonunun en uygun parametreleri,  $B$  bandındaki karakteristik mutlak büyüklük  $M_B^* = 19.67_{-0.96}^{+0.84}$  mag ve sönük uçtaki eğim  $\alpha = -1.29_{-0.34}^{+0.23}$  bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Galaksiler: kümeler: Özel: Abell 2254, Galaksiler: Kümeler: Fotometri, Işınım gücü fonksiyonu-galaksiler-statistik.

\* Corresponding Author: [ebrucaliskan@sdu.edu.tr](mailto:ebrucaliskan@sdu.edu.tr)



## 1. Introduction

Galaxy clusters are the largest structures detected to be covering many galaxies ( $> 50$ ) and the hot ionized gas in hydrostatic equilibrium filling the intra-cluster medium (ICM) and the dark matter. This hot gas in the cluster has electron density values in the range of  $10^{-4} - 10^{-2} \text{ cm}^{-3}$  with a temperature range of  $10^7 - 10^8 \text{ K}$ . Their radius is detected to be between 1 and 2 Mpc (with Hubble constant of  $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ). Their emission is detected to be thermal Bremsstrahlung (see e.g. Sarazin, 1992, Sarazin, 1988, Fabian 1988, Sarazin, 1986).

Optical observations of early-type galaxies provide important clues about the physical processes that influenced the formation and evolution of these galaxies. Baum (1959) explained that as galaxies get brighter, the field elliptical colors become redder. In the following years, the relationship between increasing luminosity and increasing metallicity was interpreted as the color-magnitude relation (CMR) (Caglar & Hudaverdi 2017, Gallazzi et al. 2006, Kodama et al. 1999; Kodama & Arimoto 1997; Worthey 1994; Faber 1973).

Detailed studies of galaxy clusters at optical wavelengths allow us to investigate the distribution of the number of galaxies in the unit volume and unit luminosity range through the study of the galaxy luminosity function (GLF) (Feng et al. 2014). The first study on the GLF was published in 1974 by Press and Schechter (1974) simply presented the hierarchical clustering of a galaxy cluster in terms of mass distribution. The empirical formula of the galaxy luminosity function was proposed by Schechter (1976). Schechter function

$$\Phi(M)dM = \Phi^* 10^{-0.4(\alpha+1)(M-M^*)} \exp[-10^{-0.4(M-M^*)}] dM$$

in which:

$\Phi(M) dM$ : the number of galaxies with absolute magnitudes in the range from  $M+dM$  (per unit volume)

$\Phi^*$  : a normalization factor that defines the overall density of galaxies (number per cubic Mpc),

$M^*$  : the characteristic absolute magnitude.

Studies of normal galaxy clusters and merging clusters have been done at all wavelengths (e.g. Boué et al. 2008, Barkhouse et al. 2007, Adami et al. 2007, De Propris et al. 2003). Distance clusters of galaxies have also been explored by Andreon (2001,  $z = 0.3$ ), Massarotti et al. (2003,  $z = 0.64$ ), and Drory et al. (2003,  $z \sim 1.2$ ). The relative distributions and shapes of bright and faint galaxies in clusters are affected by mergers. GLFs are also useful to characterize these effects. Although many bright galaxies are seen, the GLFs of some merging clusters of galaxies have been shown dips and wiggles (see e.g. Durret et al. 2011 and references therein). A large number of spectroscopic galaxy redshifts can make becomes possible the dynamical properties and estimate the mass of the cluster, as well as characterize substructures, if any. From the X-ray data, temperature and metallicity maps of the X-ray gas can serve as complements to probe the substructures. Numerical simulations of optical and X-ray results can provide information on cluster formation (see eg Durret et al. 2011 and references therein).

Abell 2254 (A2254), is reported by Crawford et al. (1995) with a red-shift of  $z = 0.178$ . This cluster has an enrichment class of 2 as described by (Abell et al. 1989) and is known to be a rich galaxy cluster. Ebeling et al. (1996) reported that it as an X-ray bright cluster with  $L_X = 7.19 \times 10^{44} \text{ ergs s}^{-1}$  in the energy range of (0.1-2.4) keV as a result of *ROSAT* observations. Considering both radio and X-ray emission, it is seen that it has a very clumpy and irregular structure. The A2254 structure is known to be the irregular structure of a dynamically young cluster, in which fragments with different morphology both in X-ray and radio morphology merge (Schindler & Müller 1993).

Girardi et al. (2011) reported the internal dynamics of A2254. Their analysis was based on redshift data for 128 galaxies. They combined galaxy velocities and positions to select 110 cluster galaxies and analyzed their internal dynamics. They used optical (new g', r', i' photometric data from the Isaac Newton Telescope and Subaru Archive V, i' photometric data) and X-ray data (*XMM-Newton*) in their work. They have estimated the cluster redshift to be  $z = 0.177$ , a high line-of-sight velocity dispersion of  $\sigma_v \sim 1350 \text{ km s}^{-1}$ , and the X-ray temperature of  $kT \sim 6.4 \text{ keV}$ . Their optical and X-ray analyses revealed complex dynamical activity in both electromagnetic windows. Their X-ray morphological analysis with *XMM-Newton* data confirmed that A2254 is a dynamically disturbed cluster. Their X-ray studies revealed that the cluster had to be elongated toward the eastern direction, which has shown a good agreement with a merger in the post-core-crossing phase. Their optical and X-ray analyses showed that the main system was a non-relaxed structure, indicating north-south as a possible direction for a past accretion. They concluded that A2254, for its mass and merging structure, suits well among the typical clusters with radio-halos (Girardi et al. 2011).

Girardi et al. (2012) also reported that the X-ray temperature of  $kT \sim 6.4 \text{ keV}$ . The main system was interpreted as likely sub-structured. The X-ray mechanisms of early-type galaxies can be understood as follows: either they are X-ray emitted systems via accretion disk around the compact objects which are low mass binaries and almost most of them are thought to produce their X-rays by accreting material onto the disk, and/or the compact objects which are supermassive black holes in the Active Galactic Nuclei (AGN). Another alternative could be due to the existence of a very hot gas of temperature ( $\sim 10^7 \text{ K}$ ) in the halo of the interstellar medium where X-rays come from Smith et al. (2001). Expected  $\log(L_X) \geq 40 \text{ ergs s}^{-1}$  criteria for being a possible AGN is reported by Blanton et al. (2001), Randall et al. (2006). Ebeling et al. (1996) reported it as an X-ray bright cluster with  $L_X = 7.19 \times 10^{44} \text{ ergs s}^{-1}$  in the energy range of (0.1-2.4) keV as a result of *ROSAT* observations.

The X-ray studies of local early-type galaxies have correlate the total X-ray luminosity is associated with optical luminosity (e.g. Ellis & O'Sullivan, 2006, O'Sullivan et al, 2001). Consequently, the  $L_X / L_B$  luminosity ratio demonstrates the stellar velocity dispersions of a defined galaxy (traced by  $L_X$ ) and the stellar mass (traced by  $L_B$ ) of that galaxy (Lehmer et al, 2007, Mahdavi & Geller, 2001). Canizares et al. (1987) defined X-ray to optical luminosity correlation as  $L_X \propto L_B^{1.6-2.3}$  for optically bright sources. The correlation for optically faint galaxies is observed to be rather linear,  $L_X \propto L_B$  (e.g. Gilfanov 2004).

In this work, we presented our optical observations and data reduction of A2254 in Section 2, and our discussion and conclusions in Section 3 and 4, respectively.

## 2. Material and Method

### 2.1. Optical Observations and Data Reduction

The optical imaging observations of A2254 took place on the 11th of September 2015 with a 1.5-m Russian-Turkish-Telescope (RTT150)<sup>†</sup> located in Antalya, Turkey. The observations are performed with the RTT150. During the observations, the seeing varied 1.8 arcsec. The optical images were obtained using the TFOSC instrument at the Cassegrain focus. The 2048 x 2048 back illuminated CCD has 15 $\mu$ m<sup>2</sup> pixel size, and 13.5 x 13.5 arcmin<sup>2</sup> field of view.

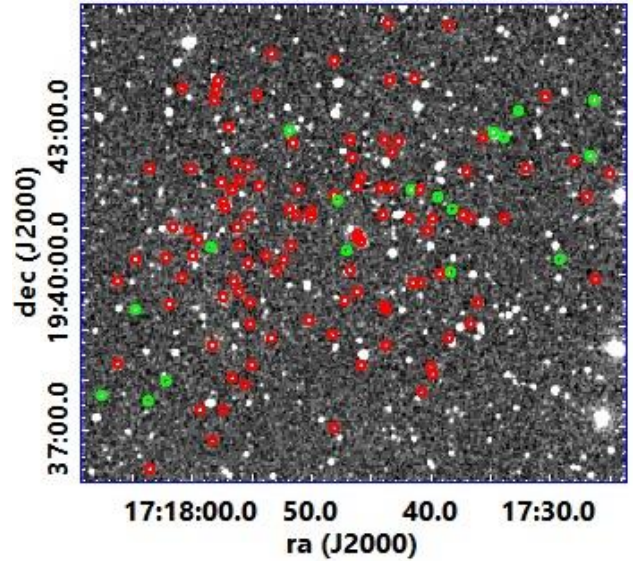
The filters *B*, *V*, and *R* were used with exposure times of 3x900 s for individual filter imaging observations. Exposure times and filter properties for imaging observations can be seen in Table 1.

Table 1. Log of Observations of A2254

Observation Date	Exposure Times (s)	Filter	FWHM (nm)	$\lambda_{\text{cent}}$ (nm)
11/09/2015	900x3	Bessel B	114	433
11/09/2015	900x3	Bessel V	100	519
11/09/2015	900x3	Bessel R	128	600

The reduction of raw data was processed by using an Image Reduction and Analysis Facility (IRAF)<sup>‡</sup>. The imaging tool of DS9 was used for imaging data reduction and analysis in which the bias corrections, over-scan at the field, and cosmic ray elimination were included by making the use of the IRAF CCDPROC package. To inspect the locations of the source positions, we used the USNO- A2.0 catalog of astrometric standards by Monet et al. (1998). Figure 1 shows the A2254 optical RTT150 image in the Bessel *R* filter.

Figure 1. Integrated (total) Bessel *R* filter image of A2254. Red circles are the galaxies detected in the cluster while green circles are the ones that are not detected in the cluster itself, but rather detected along the line of sight that is so-called non-member galaxies



After completing the pre-reduction tasks explained above, we obtained the total-integrated imaging data for each filter and calculated the magnitudes of the galaxies with the help of their aperture values. Galaxies are detected and galaxy catalogs were compiled using SExtractor (Bertin & Arnouts, 1996). This is presented in Table 2, where we have also used the identified member galaxies in A2254 by Girardi et al. (2011).

We made the detections with the *R* filter because it is more sensitive. Measurements were made with *B*-band with the double image mode. We accepted the minimum required 5 pixels required and a detection threshold of 1.5 sigmas for galaxy detection. The galaxies are detected with the SExtractor software (Bertin & Arnouts 1996). Total magnitudes have been calculated in the Vega system and all magnitudes corrected for galactic extinction. All galaxies are listed in Table 2, in its column (IDm) are found to be in very good agreement with the positions of the galaxies reported by Girardi et al. (2011). We derived the magnitudes of all galaxies in A2254 for member and non-member ones using *B*, *V*, and *R* filters.

<sup>†</sup> Specifications of RTT150 and TÜBİTAK Faint Object Spectrometer and Camera (TFOSC) are available at <http://www.tug.tubitak.gov.tr>

<sup>‡</sup> Developed by USA National Optical Astronomical Observatories (NOAO) \\\a href="https://iraf-community.github.io/">https://iraf-community.github.io/

Table 2. A2254 cluster member galaxies with their positions detected in this work and their magnitudes obtained for filters B, V, and R. Column (ID) shows all galaxies observed during our observations including the non-members but in the line of sight, while column (IDm) shows the galaxies detected as members) in A2254. All galaxies are listed in columns (ID and IDm) are found to be in very good agreement with the positions of the galaxies reported by (Girardi et al. 2011).

ID	IDm	ra (J2000) (h m s)	dec (J2000) (° ' ")	B (mag)	V (mag)	R (mag)
1	1	17:17:24.62	+19:41:59.6	17.86	17.56	16.56
2	2	17:17:25.92	+19:39:54.7	20.30	19.39	18.99
3		17:17:25.97	+19:43:25.3	18.09	17.15	16.49
4		17:17:26.26	+19:42:20.5	18.58	17.74	17.27
5	3	17:17:26.59	+19:41:31.6	18.66	18.06	17.82
6	4	17:17:27.62	+19:42:14.8	18.64	18.06	17.24
7		17:17:28.94	+19:40:18.1	21.08	19.98	19.34
8	5	17:17:30.10	+19:43:30.0	19.53	18.48	18.18
9	6	17:17:31.68	+19:42:06.1	19.16	18.00	17.84
10		17:17:32.35	+19:43:13.4	20.19	19.52	19.12
11	7	17:17:33.53	+19:41:07.1	19.47	19.03	18.80
12		17:17:33.55	+19:42:42.1	20.19	19.47	18.99
13		17:17:34.37	+19:42:48.6	17.25	16.72	16.08
14	8	17:17:35.35	+19:42:42.8	19.20	18.92	18.18
15	9	17:17:35.95	+19:39:27.4	19.96	19.43	18.82
16	10	17:17:36.43	+19:41:07.8	19.84	18.98	18.63
17	11	17:17:36.46	+19:39:02.2	19.17	19.00	18.24
18	12	17:17:36.74	+19:42:03.6	20.72	19.67	19.43
19	13	17:17:37.03	+19:41:11.4	19.27	18.84	18.40
20		17:17:37.87	+19:41:17.9	20.92	19.73	19.39
21		17:17:38.04	+19:40:04.4	19.70	19.27	18.25
22	14	17:17:38.04	+19:44:55.7	20.19	19.31	18.90
23	15	17:17:38.21	+19:40:03.7	20.90	20.81	19.80
24	16	17:17:38.26	+19:38:46.3	20.61	19.98	19.34
25	17	17:17:38.95	+19:40:01.6	19.44	18.87	18.11
26		17:17:39.10	+19:41:33.0	20.64	19.79	19.02
27	18	17:17:39.65	+19:41:06.7	20.27	19.27	18.90
28	19	17:17:39.70	+19:38:02.8	20.37	19.43	19.15
29	20	17:17:39.84	+19:38:10.7	20.58	19.52	19.43
30	21	17:17:39.84	+19:38:10.7	20.22	19.52	18.99
31	22	17:17:40.03	+19:40:52.0	18.92	18.22	17.63
32	23	17:17:40.63	+19:37:42.6	20.09	19.85	19.30
33	24	17:17:40.66	+19:41:40.9	19.50	18.98	18.11
34	25	17:17:40.68	+19:39:52.2	20.66	19.31	19.34
35	26	17:17:41.02	+19:43:53.8	19.83	19.00	18.90
36	27	17:17:41.33	+19:39:52.2	19.66	18.89	18.82
37		17:17:41.38	+19:41:42.0	18.26	18.06	17.36
38	28	17:17:41.57	+19:41:07.4	18.69	17.97	17.55
39	29	17:17:42.34	+19:42:39.2	17.72	16.97	16.74
40	30	17:17:43.01	+19:42:26.3	18.86	17.97	17.47
41	31	17:17:43.06	+19:41:44.2	18.77	17.97	17.66
42	32	17:17:43.06	+19:43:51.6	18.79	17.66	17.56
43	33	17:17:43.20	+19:44:59.6	18.81	18.27	17.74
44	34	17:17:43.61	+19:39:20.5	19.15	18.68	17.81
45	35	17:17:43.61	+19:42:42.1	19.40	18.68	18.04
46	36	17:17:43.63	+19:38:37.7	20.89	20.81	19.87
47	37	17:17:43.70	+19:39:24.8	20.72	20.43	19.63
48	38	17:17:43.80	+19:41:12.1	19.06	18.34	17.85
49	39	17:17:43.87	+19:41:43.4	19.47	18.17	17.97
50	40	17:17:45.53	+19:40:40.1	18.55	17.96	17.45
51	41	17:17:45.62	+19:41:57.1	20.97	20.14	19.57
52	42	17:17:45.65	+19:38:13.6	18.99	18.48	17.82
53	43	17:17:45.86	+19:40:48.4	17.14	16.14	15.73
54	44	17:17:45.86	+19:41:47.4	19.38	18.31	18.11
55	45	17:17:45.86	+19:40:45.8	20.23	19.67	19.15
56	46	17:17:45.91	+19:39:41.4	19.04	18.41	17.63
57	47	17:17:46.30	+19:42:20.9	19.93	19.23	18.61
58	48	17:17:46.51	+19:42:42.5	20.26	19.31	19.12

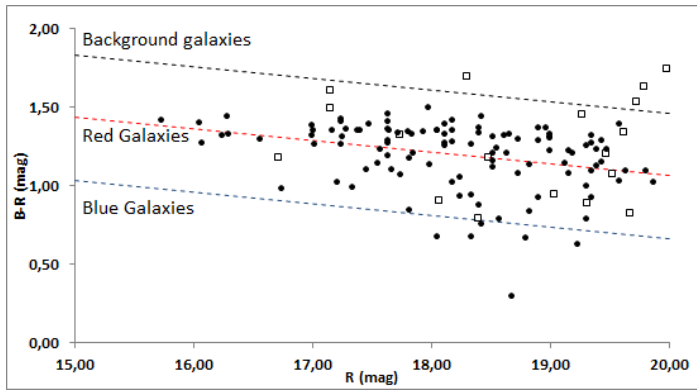
ID	IDm	ra (J2000) (h m s)	dec (J2000) (° ' ")	B (mag)	V (mag)	R (mag)
59	49	17:17:46.58	+19:40:05.9	19.36	19.06	18.57
60		17:17:46.75	+19:40:30.7	18.96	18.39	18.18
61	50	17:17:46.97	+19:39:31.3	18.38	18.02	16.99
62		17:17:47.59	+19:41:29.4	20.16	19.67	19.34
63	51	17:17:47.69	+19:44:15.4	19.27	18.39	18.33
64	52	17:17:47.78	+19:41:35.9	18.82	18.17	17.63
65	53	17:17:47.95	+19:37:00.8	20.29	19.31	18.99
66	54	17:17:48.02	+19:38:51.4	19.79	19.35	18.55
67	55	17:17:49.78	+19:41:10.7	19.63	18.68	18.51
68	56	17:17:49.82	+19:41:18.2	20.56	20.43	19.30
69	57	17:17:50.02	+19:39:07.6	17.73	17.02	16.28
70	58	17:17:50.81	+19:41:43.4	18.50	17.41	17.24
71	59	17:17:50.95	+19:41:12.5	20.40	19.35	19.19
72	60	17:17:51.22	+19:42:38.5	18.32	17.97	17.33
73	61	17:17:51.48	+19:40:36.1	18.66	18.17	17.24
74		17:17:51.58	+19:42:52.9	18.09	17.15	16.60
75	62	17:17:51.65	+19:41:20.4	19.99	18.87	18.65
76	63	17:17:52.13	+19:40:19.6	18.64	18.50	17.28
77	64	17:17:52.61	+19:40:08.0	19.59	18.92	18.18
78	65	17:17:53.04	+19:44:24.0	19.40	18.30	18.04
79	66	17:17:53.21	+19:38:47.8	18.27	18.10	17.01
80	67	17:17:53.52	+19:40:25.0	20.02	18.92	18.72
81	68	17:17:54.12	+19:41:47.8	19.05	18.31	17.72
82	69	17:17:54.17	+19:43:36.1	20.62	20.67	19.39
83	70	17:17:54.84	+19:38:14.3	19.29	18.68	18.24
84	71	17:17:54.91	+19:39:04.3	19.77	18.98	18.40
85	72	17:17:54.96	+19:39:29.2	19.85	19.67	19.22
86	73	17:17:55.06	+19:40:16.0	18.31	17.84	16.99
87	74	17:17:55.06	+19:42:10.8	19.86	19.03	18.42
88	75	17:17:55.08	+19:41:10.7	19.08	18.59	17.63
89	76	17:17:55.46	+19:37:52.0	20.71	20.43	19.48
90	77	17:17:55.75	+19:41:53.2	20.61	19.85	19.57
91	78	17:17:55.78	+19:39:41.4	19.83	18.92	18.51
92	79	17:17:55.78	+19:40:36.8	19.01	18.52	18.33
93	80	17:17:56.02	+19:40:59.5	18.56	17.89	17.25
94	81	17:17:56.09	+19:42:14.4	20.30	19.79	19.30
95	82	17:17:56.30	+19:39:54.4	19.27	18.39	17.92
96	83	17:17:56.42	+19:41:43.4	19.67	19.06	18.51
97	84	17:17:56.50	+19:37:59.9	19.74	19.27	18.40
98	85	17:17:56.62	+19:42:56.5	18.99	18.39	17.63
99	86	17:17:56.95	+19:41:21.5	19.59	18.89	18.33
100	87	17:17:57.07	+19:41:28.7	18.35	17.32	17.00
101	88	17:17:57.19	+19:37:23.5	20.51	19.79	19.39
102	89	17:17:57.26	+19:39:35.3	17.55	16.59	16.24
103	90	17:17:57.29	+19:41:52.4	18.51	17.73	17.16
104	91	17:17:57.53	+19:43:52.0	18.73	17.65	17.38
105	92	17:17:57.67	+19:43:42.2	19.80	19.16	18.72
106	93	17:17:57.84	+19:43:28.9	18.72	18.30	18.04
107	94	17:17:58.13	+19:38:39.1	18.22	17.58	17.21
108	95	17:17:58.20	+19:36:45.7	20.31	19.31	18.99
109		17:17:58.20	+19:40:36.5	19.84	19.31	18.96
110	96	17:17:59.21	+19:37:23.2	19.72	18.79	18.51
111	97	17:17:59.21	+19:40:45.1	18.99	18.24	17.64
112	98	17:17:59.69	+19:40:25.7	17.45	16.68	16.05
113	99	17:17:59.83	+19:42:09.0	19.17	18.84	18.42
114	100	17:17:59.98	+19:40:54.1	20.26	19.85	19.34
115	101	17:18:00.58	+19:43:44.8	20.43	19.85	19.34
116	102	17:18:00.67	+19:40:00.1	20.33	19.57	18.96
117	103	17:18:01.30	+19:40:58.4	17.34	16.52	16.07
118	104	17:18:01.70	+19:39:28.8	18.75	17.93	17.40
119	105	17:18:01.97	+19:40:22.4	18.90	18.27	17.63
120		17:18:01.99	+19:37:56.6	19.39	19.03	18.45
121	106	17:18:03.31	+19:42:09.4	19.46	18.84	18.18
122	107	17:18:03.46	+19:36:14.0	19.37	18.98	18.11
123		17:18:03.62	+19:37:33.6	20.64	19.62	19.30
124	108	17:18:04.46	+19:40:21.4	18.97	19.67	18.68
125		17:18:04.61	+19:39:22.3	19.09	18.30	17.40
126	109	17:18:06.00	+19:39:55.1	19.12	18.39	17.98
127	110	17:18:06.05	+19:38:17.5	17.62	16.78	16.29



ID	IDm	ra (J2000) (h m s)	dec (J2000) (° ' ")	B (mag)	V (mag)	R (mag)
128		17:18:07.51	+19:37:40.8	19.22	18.48	18.04

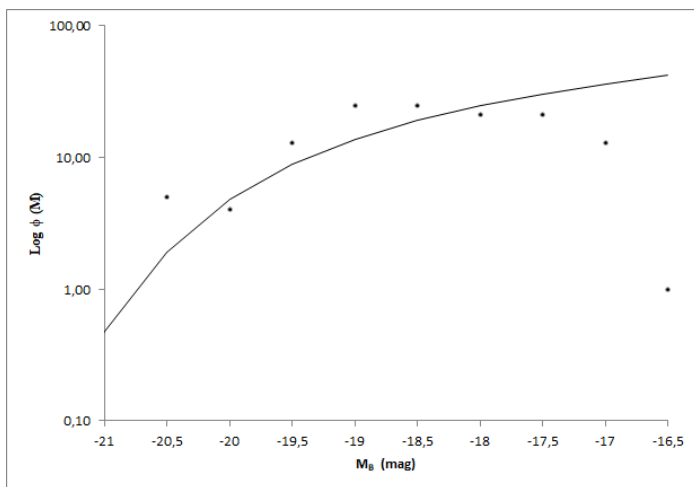
The  $B-R$  vs  $R$  color-magnitude diagram is presented in Figure 2. Galaxies are divided into three groups in Figure 2: red, blue, and background galaxies. In this figure, red line is the best fit color-magnitude relation. When  $B-V < B-V - 0.4$  mag, galaxies are getting bluer and these galaxies contain mainly star-forming galaxies, both in the cluster and in the field. When  $B-V > B-V - 0.4$  mag, galaxies are background galaxies.

Figure 2. The  $B-R$  vs  $R$  color-magnitude diagram for the cluster A2254, divided into three groups: red, blue, and background galaxies



The resulting GLFs were calculated in bins of 0.5 mags as a function of absolute B magnitude, they are shown in Figure 3. We subtracted the background contribution using background galaxy counts.

Figure 3. Galaxy luminosity function in the B band for A2254. The continuous line represents the Schechter function.



### 3. Results and Discussion

We have presented here the optical imaging observational results of a merging galaxy cluster A2254. In optical imaging search, we have used the Bessel  $B$ ,  $V$ , and  $R$  filters, for the first time.

In this study, 128 galaxies were identified as the main followers of cluster dynamics, which is in very good agreement with Girardi et al. (2011). For a better understanding of dynamical structure in A2254, faint member galaxies should also be taken into account. All galaxies are listed in Table 2. Member galaxies and galaxies reported by Girardi et al. (2011) have same position. We have derived the magnitudes of all galaxies in A2254 for member and non-member ones using  $B$ ,  $V$ , and  $R$  filters. Our Figure 1 is the Bessel  $R$  filter image of A2254 and Table 2 is the reported magnitudes for the whole galaxies located in A2254.

ID53 is located at the center of the cluster and is the brightest member of the cluster. Also, ID102, 112, and 117 have their brightness close to ID53 ( $< 5$  mags) and these galaxies are located in the eastern part of the cluster. The cluster, as is known, is classified as "B", (binary) according to the Rood-Sastry morphological type (Struble & Rood 1987).

ID53 has a bright companion (ID50). According to Subaru images (Girardi et al. 2011), this companion is a spiral galaxy with a large bulge and an arm directed toward the ID53 and characterized by emission spectral lines (e.g. [OII], H $\beta$ , and [OIII]). Although we have obtained the optical spectrum of ID53, it was not possible to distinguish between the emission lines of the two galaxies in the optical spectrum of ID53.

Our observed  $L_B$  values are in the range of  $0.77 \times 10^9 - 0.38 \times 10^{11} L_{B0}$ . These values are above the critical limit defined by Lehmer et al. (2007) and should therefore be considered optically bright.

Figure 2 shows the CMD of A2254 ( $B-R$ ) vs  $R$  for all galaxies. The early-type galaxies in the cluster are closely correlated with their optical colors and luminosity. This is known as the color-magnitude relationship or the red sequence. In general, galaxies significantly above the red sequence are in the cluster background (since they are redder than the reddest cluster galaxies). The number of red galaxies is significantly greater than the number of blue galaxies.

We analyzed GLF in band B using RTT150 data, to better understand the effects of cluster mergers on galaxy properties, we have seen that the GLF of the Abell 2254 can be placed in band B with a Schechter function. The best-fitting parameters of the Schechter function are the characteristic absolute magnitude in the  $B$  band  $M_B^* = 19.67^{+0.84}_{-0.96}$  mag, and the slope at the faint end of the GLF band  $\alpha = -1.29^{+0.23}_{-0.34}$  mag, for galaxies.

### 4. Conclusions and Recommendations

The main conclusions are as follows:

In our optical imaging studies, we have used the Bessel  $B$ ,  $V$ , and  $R$  filters, for the first time for A2254 (see Figure 1). All galaxies are listed in Table 2. The coordinates of member galaxies are found to be in very good agreement with the positions of the galaxies reported by Girardi et al. (2011).

A2254 should be considered as an optically bright galaxy since its  $L_B$  range is above the critical limit defined by Lehmer et al. (2007). The number of red galaxies is significantly greater than the number of blue galaxies.

We have obtained the GLF in the  $B$  band. It is shown that the GLF of Abell 2254 can be fitted well with a Schechter



function in the  $B$  band. The best-fitting parameters of the Schechter function are the characteristic absolute magnitude in the  $B$  band  $M_B^* = 20.46_{-0.96}^{+0.84}$  mag, and the slope at the faint end of the GLF  $\alpha = -1.29_{-0.34}^{+0.23}$  for galaxies.

Optical spectra of dominant galaxies in the cluster may be derived as a continuation of studies in the optical band of this cluster. The optical spectra will provide information about attributes of the cluster member galaxies and the optical profile of the host cluster.

## 5. Acknowledge

We thank TUBİTAK-TUG for their support in using RTT150 (Russian-Turkish Telescope) for our observations performed through Project number 15BRTT150-869.

## References

- Abell, G. O., Corwin R. P., & Olowin, R. P. (1989). A Catalog of Rich Clusters of Galaxies. *Astrophysical Journal Supplement*, 70, 1–138. <https://doi.org/10.1086/191333>
- Adami, C., Durret, F., Mazure, A., Pello, R., Picat, J. P., West, M., & Meneux, B. (2007). Spatial variations of the optical galaxy luminosity functions and red sequences in the Coma cluster: clues to its assembly history, *Astronomy and Astrophysics*, 462, 411–427. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20065848>
- Andreon, S. (2001). Deep Near-Infrared Luminosity Function of a Cluster of Galaxies at  $z=0.3$ , *The Astrophysical Journal*, 547, 623–634. <http://dx.doi.org/10.1086/318381>
- Barkhouse, W. A., Yee H. K. C., & López-Cruz O. (2007). The Red-Sequence Luminosity Function in Galaxy Clusters since  $z \sim 1$ , *The Astrophysical Journal*, 671, 1471. <https://doi.org/10.1086/524398>
- Baum, S. A. (1959). Population Inferences from Star Counts, Surface Brightness and Colors, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 71, 106–117. <https://doi.org/10.1086/127346>
- Bertin, E., & Arnouts, S. (1996). SExtractor: Software for source extraction, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 117, 393–404. <https://doi.org/10.1051/aas:1996164>
- Blanton, E. L., Sarazin, C. L., & Irwin, J. A. (2001). Diffuse Gas and Low-Mass X-Ray Binaries in the Chandra Observation of the S0 Galaxy NGC 1553. *Astrophysical Journal*, 552, 1, 106–119. <https://doi.org/10.1086/320461>
- Boué, G., Adami, C., Durret, F., Mamon, G. A., & Cayatte, V. (2008). The galaxy luminosity function of the Abell 496 cluster and its spatial variations, *Astronomy & Astrophysics*, 479, 335–346. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20077723>
- Caglar, T. & Hudaverdi, M. (2017). XMM–Newton view of X ray overdensities from nearby galaxy clusters: the environmental dependencies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 471, 4990–5007. <https://doi.org/10.1093/mnras/stx1811>
- Canizares, C. R., Fabbiano G., & Trinchieri G. (1987). Properties of the X-Ray Emitting Gas in Early-Type Galaxies, *Astrophysical Journal*, 312, 503–513. <https://doi.org/10.1086/164896>
- Crawford, C. S., Edge, A. C., Fabian, A. C., Allen, S. W., Bohringer, H., Ebeling, H., McMahon, R. G., & Voges, W. (1995). Optical spectroscopy of the *ROSAT* X-ray brightest clusters – II, *Monthly Notices Royal Astronomical Society*, 274, 75–84. <https://doi.org/10.1093/mnras/274.1.75>
- De Propriis, R., Colless, M., Driver, S. P., et al. (2003). The 2dF Galaxy Redshift Survey: the luminosity function of cluster galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 342, 3, 725–737. <https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.2003.06510.x>
- Drory, N., Bender, R., Feulner, G., Hopp, U., Maraston, C., Snigula, J., & Hill, G. J. (2003). The Munich Near-Infrared Cluster Survey. II. The K-Band Luminosity Function of Field Galaxies to  $z \sim 1.2$ , *The Astrophysical Journal*, 595, 698–711. <http://dx.doi.org/10.1086/377497>
- Durret, F., Adami, C., Cappi, A., et al. (2011). Galaxy cluster searches based on photometric redshifts in the four CFHTLS Wide fields, *Astronomy & Astrophysics*, 535, 65–80. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201116985>
- Ebeling, H., Voges, W., Bohringer, H., Edge, A. C., Huchra J. P. & Briel U. G. (1996). Properties of the X-ray-brightest Abell-type clusters of galaxies (XBACs) from *ROSAT* All-Sky Survey data - I. The sample., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 281, 799–829. <https://doi.org/10.1093/mnras/281.3.799>
- Ellis, S. C., & O'Sullivan E. (2006). Correlations of near-infrared, optical and X-ray luminosity for early-type galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 367, 627–645. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2005.09982.x>
- Faber, S. M. (1973). Variations in Spectral-Energy Distributions and Absorption-Line Strengths among Elliptical Galaxies, *Astrophysical Journal*, 179, 731–754. <https://doi.org/10.1086/151912>
- Fabian, A. C. (1988). Theory of Intracluster Gas Hot Thin Plasmas in Astrophysics. Proceedings of a NATO Advanced Study Institute, held at Cargese, Corsica, September 8–18, 1987, Dordrecht: Kluwer, 1988, edited by R. Pallavicini. NATO Advanced Study Institute (ASI) Series C, 249, p.293.
- Feng, L., Peng-fei, Y., & Qi-rong Y. (2014). Luminosity Function of The Galaxy Cluster Abell 85, *Chinese Astronomy and Astrophysics*, Volume 38, Issue 3, p. 247–256. <https://doi.org/10.1016/j.chinastron.2014.07.003>
- Gallazzi, A., Charlot, S., Brinchmann J., & White, S. D. M. (2006). Ages and metallicities of early-type galaxies in the Sloan Digital Sky Survey: new insight into the physical origin of the colour-magnitude and the  $Mg2-\sigma_V$  relations, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 370, 1106–1124. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2006.10548.x>
- Gilfanov, M. (2004). Low-mass X-ray binaries as a stellar-mass indicator for the host galaxy, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 349, 146–168. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2004.07473.x>
- Girardi, M., Bardelli, S., Barrena, R., Boschin, W., Gastaldello, F., & Nonino M. (2011). Internal dynamics of Abell 2254: a merging galaxy cluster with a clumpy, diffuse radio emission. *Astronomy & Astrophysics*, 536, 89–109. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201117332>
- Girardi, M., Barrena, R., & Boschin, W. (2012). Merging clusters of the DARC sample: studying the formation of galaxy clusters. in “Growing-up at High Redshift: From Proto-clusters to Galaxy Clusters”. Posters from the Conference held in Sept (2012) Madrid-Spain.

- <http://www.sciops.esa.int/index.php?project=CONF2011&page=CLUSTERS2012>
- Kodama, T., & Arimoto, N. (1997). Origin of the colour-magnitude relation of elliptical galaxies, *Astronomy and Astrophysics*, 320, 41-53.
- Kodama, T., Bower, R. G., & Bell, E. F. (1999). The colour-magnitude relation of early-type galaxies in the Hubble Deep Field, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 306, 561-566. <https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.1999.02542.x>
- Lehmer, B. D., Brandt, W. N., Alexander, D. M., Bell, E. F., McIntosh D. H., Bauer, F. E., Hasinger, G., Mainieri V., Miyaji, T., Schneider, D. P. & Steffen, A. T. (2007). The X-Ray Evolution of Early-Type Galaxies in the Extended Chandra Deep Field-South. *The Astrophysical Journal*, 657, 681-699. <https://doi.org/10.1086/511297>
- Mahdavi, A. & Geller, M. J. (2001). The LX- $\sigma$  Relation for Galaxies and Clusters of Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 554, 129-132. <https://doi.org/10.1086/321710>
- Massarotti, M. Busarello, G., La Barbera, F., & Merluzzi, P. (2003). UV-NIR restframe luminosity functions of the galaxy cluster EIS 0048 at  $z \sim 0.64$ , *Astronomy & Astrophysics*, 404, 75-81. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20030473>
- Monet, D., et al. (1998). VizieR Online Data Catalog: A catalogue of astrometric standards. CDS/ADC Collection of Electronic Catalogues, 1252, 0.
- O'Sullivan, E., Forbes, D. A., & Ponman, T. J. (2001). A catalogue and analysis of X-ray luminosities of early-type galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 328, 461-484. <https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.2001.04890.x>
- Press, W. H., & Schechter P. (1974). Formation of Galaxies and Clusters of Galaxies by Self-Similar Gravitational Condensation. *Astrophysical Journal*, 187, 425-435, <https://doi.org/10.1086/152650>
- Randall, S. W., Sarazin, C. L., & Irwin, J. A. (2006). *XMM-Newton* Observation of Diffuse Gas and Low-Mass X-Ray Binaries in the Elliptical Galaxy NGC 4649 (M60). *Astrophysical Journal*, 636, 1, 200-213. <https://doi.org/10.1086/497977>
- Sarazin, C.L. (1986). X-ray emission from clusters of galaxies. *Reviews of Modern Physics*. 58, 1-116 <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.58.1>.
- Sarazin, C.L. (1988). *X-Ray Emissions from Clusters of Galaxies*. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 252 pp.
- Sarazin, C.L. (1992). The Intracluster Medium ed. A. C. Fabian (Dordrecht: Kluwer), 131-151. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-2482-9>
- Schechter, P. (1976). An analytic expression for the luminosity function for galaxies., *Astrophysical Journal*, 203, 297-306. <https://doi.org/10.1086/154079>
- Schindler, S., & Müller, E. (1993). Simulations of the evolution of galaxy clusters. II. Dynamics of the intra-cluster gas. *Astronomy and Astrophysics*, 272, 137-152.
- Smith, R. K. Brickhouse, N. S., Liedahl, D. A. & Raymond, J. C. (2001). Collisional Plasma Models with APEC/APED: emission-line Diagnostics of Hydrogen-like and Helium-like Ions, *The Astrophysical Journal*, 556, 91-95. <https://doi.org/10.1086/322992>
- Struble, M. F., & Rood, H. J. (1987). A Compilation of Redshifts and Velocity Dispersions for Abell Clusters, *Astrophysical Journal Supplement*, 63, 543-553. <https://doi.org/10.1086/191173>
- Worthey G. (1994). Comprehensive Stellar Population Models and the Disentanglement of Age and Metallicity Effects, *Astrophysical Journal Supplement*, 95, 107 - 149. <https://doi.org/10.1086/192096>



## Diyarbakır ilinde Buğdayda Süne [*Eurygaster integriceps* Put. (Hemiptera: Scutelleridae)]'nin Popülasyon Dinamiği

Çetin Mutlu<sup>1\*</sup>, Vedat Karaca<sup>2</sup>, Mehmet Duman<sup>3</sup>, Celalettin Gözüaçık<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, şanlıurfa, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4962-5506), cetinmutlu21@hotmail.com

<sup>2</sup> Ziraî Mücadele Araştırma Enstitüsü, Diyarbakır, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1144-047X), vedatkaraca@hotmail.com

<sup>3</sup> Ziraî Mücadele Araştırma Enstitüsü, Diyarbakır, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4945-6757), mduman\_53@hotmail.com

<sup>4</sup> Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Iğdır, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6543-7663), cgozuacik46@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 4 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 13 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1004302)

**ATIF/REFERENCE:** Mutlu, Ç., Karaca, V., Duman, M. & Gözüaçık, C. (2021). Diyarbakır ilinde Buğdayda Süne [*Eurygaster integriceps* Put. (Hemiptera: Scutelleridae)]'nin Popülasyon Dinamiği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 441-445.

### Öz

Buğday, insan beslenmesi için gerekli temel besinlerden biridir. Yoğun buğday üretimi yapılan Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Süne (*Eurygaster integriceps* Put.) halen ana zararlı durumundadır. Bu çalışma, Diyarbakır ilinde Süne'nin bazı ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerindeki yıllara bağlı olarak kışlamış ergin (KE), nimf ve yeni nesil ergin (YNE) popülasyonunu ve buna göre uygun mücadele zamanını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmalar, Diyarbakır ilinde 2004-2008 yılları arasında 9 farklı makarnalık ve ekmeklik buğday çeşidinde ve 20 farklı buğday tarlasında yürütülmüştür. Çalışma sonucunda Diyarbakır ilini çevreleyen kışlak alanlarından kışlakların boşalmasına bağlı olarak kışlamış süne ergin popülasyonunun buğdayın sapa kalkma dönemi olan nisan ayının 3. haftasında en üst seviyeye ulaştığı ve bu tarihten sonra KE'lerdeki doğal ölümlerin başlamasıyla azalmaya başlayarak mayısın ikinci haftasında en alt seviyeye düştüğü belirlenmiştir. Süne nimflerinin buğdayın süt olum dönemi başlangıcı olan mayıs ayının ilk haftasında buğday başaklarında görülmeye ve bu dönemden sonra giderek artmaya başladığı belirlenmiştir. Buğday başaklarında sarı olum dönemi başlangıcı olan haziran ayının ilk haftasında ise nimf ve YNE ergin popülasyonunun en üst seviyeye ulaştığı kaydedilmiştir. En fazla nimf yoğunluğu haziran ayının ilk haftasında Svevo (makarnalık) çeşidinde 114 nimf/m<sup>2</sup> ile olurken en düşük yoğunluğun ise 4.3 nimf/m<sup>2</sup> ile Nurkent (ekmeklik) çeşidinde olduğu belirlenmiştir. Süne mücadelesinde zamanlamanın çok önemli olduğu göz önüne alındığında buğday üreticilerinin Diyarbakır ilinde mayıs ayından itibaren tarla içinde gözlem yaparak Süne nimf yoğunluğunu kontrol etmeleri ve ekonomik zarar eşiğini geçmesi halinde mücadele yapmaları gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Süne, survey, buğday, popülasyon, mücadele, Diyarbakır.

## Population Dynamics of Sunn Pest [*Eurygaster integriceps* Put. (Hemiptera: Scutelleridae)] on Wheat in Diyarbakır Province, Turkey

### Abstract

Wheat is among the primary elements in human nutrition. Sunn pest (*Eurygaster integriceps* Put.) is still a significant pest in southeastern Anatolia region having intensive wheat production. This study determined the population dynamics of overwintered adults (OWA), nymph and new generation adults (NGA) of sunn pest on some bread and durum wheat varieties during different years in Diyarbakır province. Determining the management time based on population dynamics was the other major objective. The studies were conducted during 2004-2008 in 20 different experimental fields where 9 different bread and durum wheat varieties were cultivated. The overwintered sunn pest adult population reached the highest-level during 3rd week of April, which is stem elongation phase of wheat crop. The population started to decline after 3rd week of April with the onset of natural deaths OWAs and reached the lowest level

\* Sorumlu Yazar: cetinmutlu21@hotmail.com

during second week of May. Sunn pest nymphs appeared in wheat spikes at the initiation of milking stage (first week of May) and nymph population gradually increased after this period. Nymphs and NGA population reached the highest level at physiological maturity of wheat (first week of June) in the spikes. The highest nymph density was observed on Svevo (durum) variety with 114 nymph/m<sup>2</sup>, while the lowest density was in recorded on Nurkent (bread) variety with 4.3 nymph/m<sup>2</sup>. Considering that timing is critical in the control of sunn pest, wheat producers in Diyarbakır should monitor nymph density in the field (starting from May) and the management measures when pest is expected to exceed economic threshold.

**Keywords:** Sunn pest, monitoring, wheat, population, control, Diyarbakır.

## 1. Giriş

İnsan beslenmesi için gerekli temel besinlerden olan buğday, ülkemizde üretimi yapılan hububat ürünleri içerisinde gerek ekiliş ve gerekse üretim bakımından her zaman ilk sırada yer almıştır (TUİK, 2021). Ülkemizde yetişen diğer tarımsal ürünlerde olduğu gibi buğday üretimini olumsuz yönde etkileyen faktörlerden birisi de zararlı böceklerdir (Anonim, 2008). Söz konusu zararlı böceklerden Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde en önemlisi Süne (*Eurygaster integriceps* Put.)'dir (Yüksel, 1968; 1969; Kılıç ve ark., 1973; Anonim, 2008; Özkan ve Babaroğlu; Karaca ve ark., 2012a,b; Mutlu ve ark., 2016).

Süne zararlısı Güneydoğu Anadolu Bölgesinde 1950'li yılların başından beri periyodik olarak, Trakya ve Orta Anadolu Bölgesi'nde ise son yıllarda önemli epidemiler yaparak tahılların özellikle de buğdayın en önemli zararlısı durumuna geçmiştir (Canhilal ve ark., 2007; İslamoğlu ve Kornoşor, 2010, 2011; Gözüaçık ve Yiğit, 2013; Özkan ve Babaroğlu, 2015). Süne buğdayda gerek nicelik ve gerekse nitelik yönünden önemli ürün kayıpları meydana getirmekte, Süneye karşı gerekli mücadele önlemleri alınmadığı takdirde ise buğdayda kardeşlenme döneminde kurtboğazi, başaklanma döneminde akbaşak zararı ve en önemlisi buğday tanelerinde meydana getirdiği emgi zararı nedeniyle %100'e varan oranlarda zarar oluşturabilmektedir (Lodos, 1961; Yüksel, 1968; 1969; Kılıç ve ark., 1973; Anonim, 2008; Dizlek ve İslamoğlu, 2010; Mutlu ve ark., 2014; Özkan ve Babaroğlu, 2015; Özkan ve ark., 2017).

Türkiye'de 1927'den beri Süne üzerine bilimsel çalışmalara, 1955 yılından itibaren de kimyasal mücadeleye başlanmıştır. Bugüne kadar entegre mücadele anlayışı içerisinde yürütülen Süne mücadelesinde, mücadele zamanı ve mücadeleye karar verme kriterleri olarak, geçmiş yıllarda Güneydoğu Anadolu Bölgemizde yapılan araştırmalar sonucu ortaya konulan esaslar kullanılmaktadır (Yüksel, 1968; 1969; Kılıç ve ark., 1973; Dörtbudak, 1974; Şimşek, 1998; Mutlu ve ark., 2014). Fakat temel olarak alınan bu esaslar günümüzde buğday ıslah ve yetiştiriciliğindeki gelişmelerle, farklı ekolojik koşullara uyumlu, verimi yüksek, erkenci çeşitler ile teknolojik kalite özellikleri açısından oldukça iyi olan sertifikalı çeşitlerin ağırlıkta ekilmeye başlanması, bölgede sulanabilir hububat alanların artması, son yıllarda sıkça meydana gelen kuraklık ve benzeri etmenlerden dolayı süne mücadelesinin zamanı ve mücadele kriterlerinin yeniden gözden geçirilmesi ihtiyacını gündeme getirmiştir (Koçak, 2005; 2006; Duman ve ark., 2008; Mutlu ve ark., 2014).

Zararlı böceklerin mevsimsel veya fenolojik olarak takibinin yapılarak popülasyon yoğunluklarının en üst seviyelerinin belirlenmesi, zararlı böceklerle mücadelenin en temel

yöntemlerinden biridir (Speight ve ark., 2008). Dolayısıyla zararlı popülasyonlarının yoğunluğu veya en yoğun olduğu dönemlerin yıllık ve kısa dönemli sezonluk tahmini, bu zararlılara karşı yapılacak olan mücadelede çiftçilere en etkili kontrol stratejileri uygulamaya yardımcı olan önemli etkenlerden biridir (Matsukura ve ark., 2011).

Bu çalışma ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi'de en fazla hububat ekimi yapılan Diyarbakır ilinde yaygın ekimi yapılan bazı ekmeçlik ve makarnalık buğday çeşitlerindeki Süne kışlamış ergin, nimf+YNE yoğunluğu ile popülasyon gelişiminin belirlenmesi ve buna bağlı olarak süne ile mücadelede uygun zaman diliminde hazırlık yapılarak daha etkin mücadele için gerekli zaman aralığının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmanın ana materyalini Diyarbakır ilinde bulunan buğday tarlaları, buğday bitkisi, kışlamış ergin (KE), nimf ve yeni nesil erginler (YNE), 1/4 m<sup>2</sup>'lik demir çerçeve diğer malzemeler oluşturmuştur.

### 2.1. Süne'nin farklı buğday çeşitleri üzerinde popülasyon yoğunluğunun belirlenmesi

Bu çalışma, Diyarbakır ilinde Süne kışlamış erginlerinin kışlak alanlarından inişlerinin son bulunduğu nisan ayı başından itibaren m<sup>2</sup>'de farklı kışlamış ergin yoğunluklarının bulunduğu dört farklı ilçede ve 20 farklı buğday buğday tarlasında yürütülmüştür (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışma yapılan yerler ve buğday çeşitleri

Yıl	İlçe	Buğday Çeşidi	Buğday Türü
2004	Ergani	Bezostaja	Ekmeçlik
	Ergani	Fırat 93	Makarnalık
	Ergani	Svevo	Makarnalık
	Merkez	Dariel	Ekmeçlik
	Merkez	Dariel	Ekmeçlik
2005	Çınar	Pehlivan	Ekmeçlik
	Merkez	Svevo	Makarnalık
2006	Merkez	Bezostaja	Ekmeçlik
	Merkez	Pehlivan	Ekmeçlik
	Hazro	Nurkent	Ekmeçlik
2007	Çınar	Svevo	Makarnalık
	Merkez	Cumhuriyet 75	Ekmeçlik
	Hazro	Basri Bey	Ekmeçlik
	Hazro	Pehlivan	Ekmeçlik
	Hazro	Nurkent	Ekmeçlik
	Hazro	Basribey	Ekmeçlik

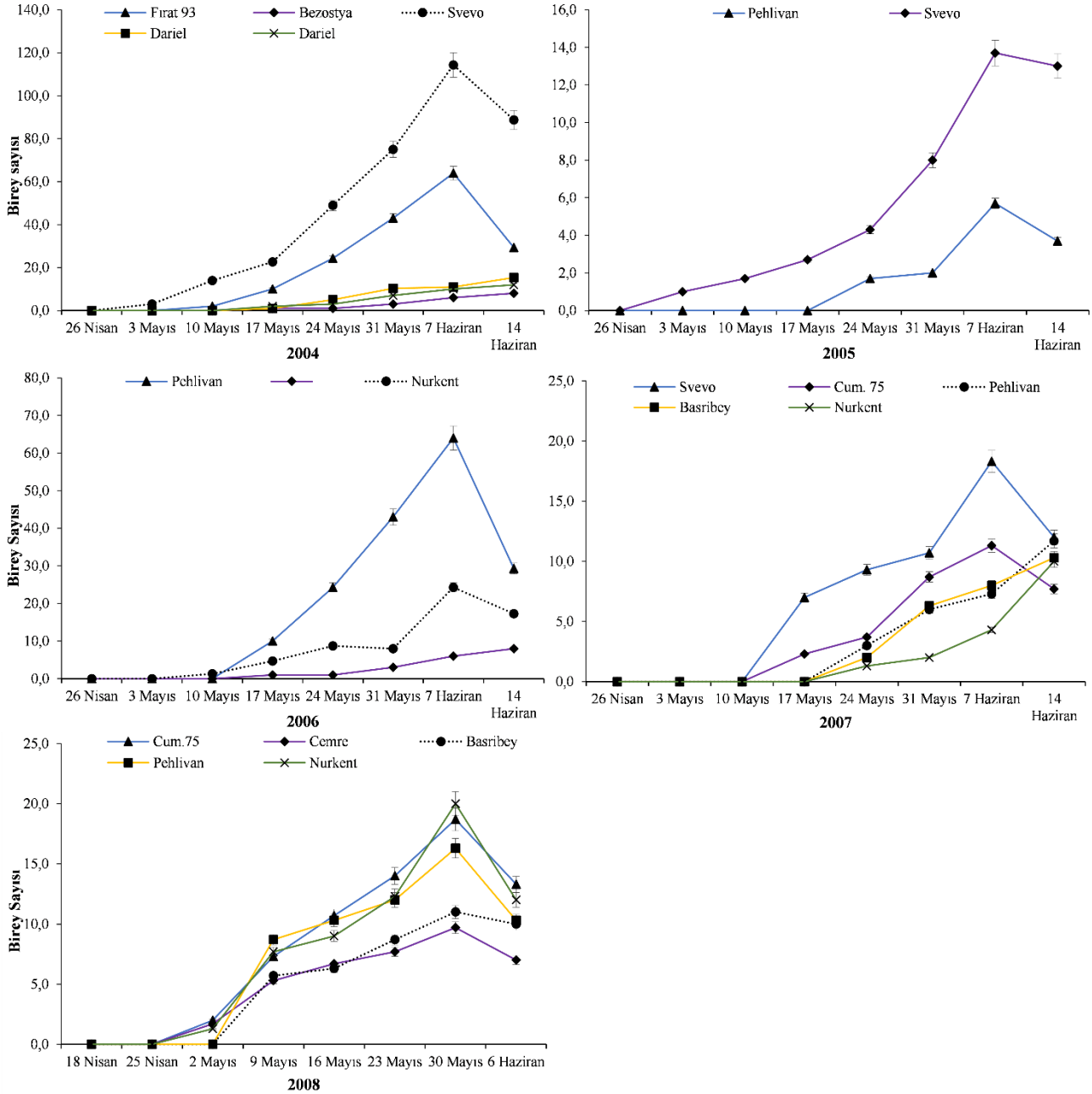


2008	Hazro	Cemre	Ekmeklik
	Hazro	Cumhuriyet 75	Ekmeklik
	Hazro	Nurkent	Ekmeklik
	Hazro	Pehlivan	Ekmeklik

Kışlaklarda yapılan gözlemlerle birlikte, kışlaklardan tarlalara inişlerin son bulduğu tarihten hemen sonra farklı kışlanmış süne ergin yoğunluğuna sahip tarlalar deneme alanı olarak seçilmiştir. Çalışmalar en az 10 dekarlık buğday alanlarında Süne mücadelesinde kullanılan teknik talimat esaslarına göre (tarla büyüklüğü 1-20 dekar ve sayım adedi 12

çerçeve) (Dörtbudak, 1979) yürütülerek kışlanmış Süne ergin yoğunluğunu tespit etmek için sayımlar yapılmış ve çerçeve içerisine giren tüm birey sayısı değerlendirmeye alınmıştır.

Kışlanmış süne ergin sayımları tamamlandıktan sonra bu alanlara hasada kadar birer hafta ara gidilerek süne nimf ve yeni nesil ergin yoğunluğunu belirlemek için deneme alanına rastgele 12 kez ¼ m<sup>2</sup> lik demir çerçeve atılarak çerçeve içine giren nimf ve yeni nesil erginler sayılarak kaydedilmiştir.



Şekil 1. Diyarbakır ili 2004-2008 yılları arasında farklı buğday çeşitlerinde Süne 'nin popülasyon gelişimi

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Süne'nin farklı buğday çeşitleri üzerinde popülasyon yoğunluğunun belirlenmesi

Diyarbakır ili Merkez, Çınar, Ergani ve Hazro ilçelerinde kışlamış Süne ergin sayımlarına ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Çalışma yapılan beş yıllık süre boyunca, kışlaklardan süne inişlerinin tamamlandığı nisan ayı ortasına kadar (fenolojik dönem: buğdayın sapa kalkma dönemi) Basribey çeşidi hariç KE sayısının, süne mücadelesinde kıymetlendirme sürveyi için esas alınan 1 m<sup>2</sup>'de 0.8 KE (Anonim, 2008) sayısının çok üzerinde olduğu belirlenmiştir. Kışlamış ergin süne sayısı en yüksek Svevo makarnalık çeşidinde (1 m<sup>2</sup>'de 3.7) kaydedilmiş, en düşük ise Basribey ekmeçlik çeşidinde 0.7 KE/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Çalışma yapılan yıllara göre belirlenen kışlamış süne ergin popülasyonu göreceli olarak nimf popülasyonunun artmasına neden olmuştur. Çalışmanın birinci yılı olan 2004 yılında KE popülasyonu ortalama 2.0 KE/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiş ve aynı yıl nimf popülasyonu ise ortalama 24.6 nimf/m<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiştir.

Sayım yapılan 2004-2008 yılları arasında, 2008 yılı hariç süne nimflerinin Diyarbakır ilinde mayıs ayının ikinci haftasından itibaren görülmeye başladığı (Şekil 1) ve bu dönemde buğday bitkisinin fenolojik olarak süt olum döneminde olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın son yılı olan 2008 yılında kısmen kuraklık ve sıcaklıkların önceki yıllara göre daha yüksek olması nedeniyle önceki yıllara göre ilk nimfler mayıs ayının ilk haftasında belirlenmiştir (Şekil 1). Bu dönemden itibaren nimf ve YNE ergin yoğunluğunda artışlar meydana gelmiş ve 2008 yılı hariç diğer yıllarda haziran ayının ilk haftasında en üst seviyeye ulaşmıştır. Bu dönemde buğdayın sert olum döneminde olduğu kaydedilmiştir. Haziran ayının ikinci haftasında sıcaklık artışı ve nimflerin YNE olması nedeniyle meydana gelen kışlaklara göç nedeniyle popülasyonda keskin bir düşüş gözlenmiştir.

Tablo 2. Çalışma yapılan buğday çeşitlerindeki KE sayıları

Yıl	Buğday çeşidi	Kışlamış Ergin Sayısı (m <sup>2</sup> )
2004	Bezostaja	1.0
	Fırat 93	2.3
	Svevo	3.7
	Dariel-1	2.0
	Dariel-2	1.3
2005	Pehlivan	1.0
	Svevo	1.7
2006	Bezostaja	1.7
	Pehlivan	2.0
	Nurkent	1.3
2007	Cumhuriyet 75	1.7
	Svevo	1.7
	Basribey	1.0
	Nurkent	1.3
	Pehlivan	1.3
2008	Basribey	0.7
	Cemre	1.0
	Cumhuriyet 75	1.7
	Nurkent	1.7
	Pehlivan	2.0

Süne nimf ve YNE ergin yoğunluklarına yıllara göre değişiklik göstermiş, en yüksek nimf+YNE yoğunluğu 2004

yılında (ortalama 114/ m<sup>2</sup>) olarak belirlenmiştir. Çalışma yapılan 2006 yılında bu rakam 86 nimf+YNE/ m<sup>2</sup> olarak kaydedilmiştir. Buna rağmen popülasyon yoğunluğunun 2005, 2007 ve 2008 yıllarında ortalama 20 nimf+YNE/ m<sup>2</sup> olarak ekonomik zarar eşiğinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Yüksel (1968), Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yaptığı çalışmada 1. dönem süne nimflerinin Floransa ve makarnalık buğdayda sapa kalkma ve başaklanma aşaması olan mayıs ayının 2. haftasından itibaren görüldüğünü ve Haziran'ın ilk haftasında 5. dönem nimflere akabinde yeni nesil erginlerin olduğunu bildirmiştir. Bu konuda Ankara ilinde yapılan bir diğer çalışmada *Eurygaster maura* L.'nin kışlaklardan ovaya göç ettiği tarihlerde buğdayın sapa kalkma dönemi sonunda ve başaklanma dönemi başlangıcında olduğu bildirilmiştir (Memişoğlu (1992). Çalışmada elde edilen sonuçlara kısmen uymakla beraber Ege bölgesinde Derin ve ark. (1998), süne türlerinin kışlaklardan inişlerini tamamladığı dönemde buğdayın kardeşlenmenin sonu ile sapa kalkma dönemi arasında olduğunu bildirmişlerdir.

### 4. Sonuç

Bu çalışma sonucunda, Diyarbakır ilinde aşırı iklim koşullarının (aşırı kuraklık ve sıcaklık olması vb.) meydana gelmemesi halinde Süne kışlamış erginlerinin kışlaklardaki kar örtüsü ve sıcaklığa bağlı olarak buğday alanlarında nisan ayı başında görüldüğü gözlenmiştir. Kışlamış ergin yoğunluğun Diyarbakır ili ve çevresinde nimf yoğunluğunu artıracak seviyenin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Kışlamış erginlerden meydana gelen nimflerin ise ilçelerin bulunduğu coğrafik konum ve iklimsel koşullara bağlı olarak mayıs ayının ilk haftasından itibaren görülmeye başladığı ve bu tarihten sonra mücadele yapılmadığı takdirde Ekonomik Zarar Eşiği olan 10 nimf/m<sup>2</sup> geçtiği belirlenmiştir. Son yıllarda gündemde olan küresel iklim değişiklikleri ile beraber sünenin kışlaklardan iniş tarihleri ile ovadaki popülasyonun takibinin yapılması ve buğday fenolojisi ile böceğin biyolojisinin tekrar ilişkilendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Süne mücadelesinde zamanlamanın oluşabilecek ekonomik kayıpları önlemede çok önemli olduğu göz önüne alındığında; Diyarbakır ilinde buğday üreticilerinin, mayıs ayının ilk haftasından itibaren tarla içinde yeterli gözlem yaparak Süne nimf yoğunluğunu kontrol etmeleri ve ekonomik zarar eşiğinin aşılması durumunda mücadele yapmaları gerekmektedir.

### Kaynakça

- Anonim (2008). Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Zirai Mücadele Teknik Talimatları, Cilt 1. s.138.
- Canhilal R., Kutuk H., İslamoğlu M., Kanat A., Gul A. (2007). Damage Loss Assessment of Sunn Pest on Wheat in Turkey, Arab Society for Plant Protection, vol.1, pp.187-190
- Derin, A., Kavut, H. (1998). Ege Bölgesindeki Süne çalışmaları. Süne Entegre Mücadele, 6-9 Ocak 1998, Ankara, 131-138.
- Dizlek H., İslamoğlu M. (2010). Buğday Kitesindeki Süne Emgi Oranlarının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması. U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 24 (1):81- 90.
- Dörtbudak Y., Koyuncu, N. (1979). Orta Anadolu'da Süne (*Eurygaster* spp.) türleri ve yoğunlukları üzerinde ön çalışmalar. Zirai Mücadele Araştırma Yıllığı, 2-3.
- Duman, M., Gözüaçık, C., Karaca, V., Mutlu, Ç. (2008). Süne mücadelesinde çiftçi davranışları: Adıyaman-Diyarbakır-

- Mardin-Şanlıurfa örneği, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi (12) 4: 65-71.
- Gözüaçık, C., Yiğit, A. (2013). Süne, *Eurygaster integriceps* put. zararının bazı buğday çeşitlerinde kalite özelliklerine etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 44(2): 161-168.
- İslamoğlu, M., Kornoşor S. (2010). Adıyaman Nemrut Kışlağında Farklı Kışlak Bitkilerinde Süne (*Eurygaster integriceps* Put.) Yoğunluğunun Parker Metoduna Göre Belirlenmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23:1.
- İslamoğlu M., Kornoşor S., Tarla Ş. (2011). Türkiye’de Süne, *Eurygaster* spp. (Hemiptera: Scutelleridae) Mücadelesindeki Gelişmeler (1928 – 2010). Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 2 (1): 63–78.
- Karaca, V., Gözüaçık, C., Şimşek, Z. (2012a). Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde hububatın entomolojik sorunları ve çözüm önerileri. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 5 (2): 154-159.
- Karaca, V., Gözüaçık, C., Şimşek, Z. (2012b). Süne (*Eurygaster integriceps* Put.) mücadelesinde havadan ilaçlamadan yönetimli çiftçi mücadelesine geçişin sürdürülebilir olması bakımından alınması gereken önlemler. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 5(2): 83-87.
- Kılıç, A.U., Çatalpınar, A., Adıgüzel, N., Dörtbudak, Y. Çavdaroğlu.S. (1973). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Süne (*Eurygaster integriceps* Put.)’nin yayılışı, biyolojisi, ekolojisi, epidemiolojisi ile daha uygun kimyevi mücadele yöntemlerinin araştırılması. Proje nihai raporu, 121 s.
- Koçak, E. (2005). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde süne (*Eurygaster integriceps* Put.)’nin kışlamış ergin dönemine karşı kimyasal mücadele olanakları. IV: GAP Tarım Kongresi, 21-23 Eylül 2005, Şanlıurfa, 316-323.
- Koçak, E. (2006). Süne Mücadelesinde zamanlamanın önemi, Türktarım, No:168, 42–45. Türkiye 3. Çayır-Mera ve Yem bitkileri Kongresi, 17-19 Haziran, Erzurum, s. 674-678.
- Lodos, N. (1961). Türkiye, Irak, İran ve Suriye’de Süne (*Eurygaster integriceps* Put) problemi üzerinde incelemeler. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:51,115s.
- Matsukura, K., Yoshida, K., Matsumura, M. (2011). Efficient monitoring of maize orange leafhopper, *Cicadulina bipunctata* (Hemiptera: Cicadellidae), and small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Hemiptera: Delphacidae), in forage maize fields using yellow sticky traps. Applied entomology and zoology, 46(4), 585-591.
- Memişoğlu, H. (1985). Ankara ilinde süne türlerinin (*Eurygaster* spp.) (Hemiptera: Pentatomidae) yayılışları ve *E. maura* L.’nin biyo-ekolojisi ile savaş yöntemleri üzerinde araştırmalar. 194s. (Yayınlanmamış doktora tezi).
- Mutlu, Ç., Canhilal, C., Karaca, V., Duman, M., Gözüaçık, C. Kan, M. (2014). Economic threshold revision of the sunnpest (*Eurygaster integriceps* Put.) on wheat in Southeastern Anatolia Region. Türkiye Entomoloji Bülteni, 4(3): 157-169.
- Mutlu, Ç., Duman, M., Karaca, V., Bayram, Y., Sıray, E., Kan, M. (2016). Kışlamış Süne Ergin Mücadelesinde Çiftçi Bilinç Düzeyi Örnek Çalışması: Güneydoğu Anadolu Bölgesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 3(4): 280-287.
- Özkan, M., Babaroğlu, N.E. (2015). Süne. Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü Yayınları, Ses Reklam İletişim ve Basım Hizmetleri, Ankara, 208 s.
- TUİK, 2021. Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel üretim istatistikleri, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1> (Erişim tarihi: 01.10.2021).
- Speight, M.R., Hunter, M.D., Watt, A.D. (2008) Insect pest management. In: Speight MR, Hunter MD, Watt AD (eds) Ecology of insects. Blackwell, Oxford, pp 429–513
- Şimşek, Z. (1998). Türkiye’de süne (*Eurygaster* spp.) mücadelesinin genel durumu, dünü, bugünü. Entegre Süne Mücadelesi.I. Workshop Raporu.6-9 Ocak 1998.Ankara,165 s.(51-62s.).
- Yüksel, M. (1968). Güney ve Güneydoğu Anadolu’da Süne (*Eurygaster integriceps* Put.)’nin yayılışı, biyolojisi, ekolojisi, epidemiolojisi ve zararı üzerinde araştırmalar. T.C. Tarım Bakanlığı Ziraat Mücadele ve Karantina Genel Müdürlüğü Yayınları, No: 46 Teknik Bülten, Yenidesen Matbaası, Ankara, 255 s.
- Yüksel, M. (1969). Süne (*Eurygaster integriceps* Put.) zararı ve Kımlı (*Aelia rostrata*) zararıyla mukayesesi üzerinde araştırmalar. Diyarbakır Bölge Ziraat Mücadele Araştırma Enstitüsü. Yeni desen Matbaası.1969.70 s.



# Üniversite Öğrencilerinin Probiyotik Bilgi Düzeyi ve Tüketim Durumlarının Belirlenmesi

Batuhan Horasan<sup>1\*</sup>, Özgür Sevinç<sup>2</sup>, Nevzat Atalay Çelikyürek<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı (Dr) , İstanbul, Turkey, (<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0003-1303-8465>), [batuhan\\_horasan@hotmail.com](mailto:batuhan_horasan@hotmail.com)

<sup>2</sup> Pamukkale Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Halk Sağlığı Bölümü,, Denizli, Turkey, (<https://orcid.org/0000-0002-3231-8123>), [ozgursevinc@gmail.com](mailto:ozgursevinc@gmail.com)

<sup>3</sup>Pamukkale Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Halk Sağlığı Bölümü,, Denizli, Turkey, (<https://orcid.org/0000-0001-9731-8880>), [atalaycelikyurek@gmail.com](mailto:atalaycelikyurek@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 4 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 16 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.999946)

**ATIF/REFERENCE:** Horasan, B., Sevinç, Ö., Çelikyürek, NA. (2021). Üniversite Öğrencilerinin Probiyotik Bilgi Düzeyi ve Tüketim Durumlarının Belirlenmesi. *European Journal of Science and Technology*, (31), 446-453.

## Öz

Geçmişten günümüze probiyotik üzerine yapılan çalışmalar, genelde hastalık üzerinde yoğunlaşırken, probiyotik besinlerin tüketim durumları, probiyotik bilgi düzeyleri ve probiyotik bilgi düzeyinin probiyotik besin tüketimi üzerinde etkisini gösteren çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu çalışma, Pamukkale Üniversitesi öğrencilerinin probiyotik bilgi düzeyleri ve tüketim durumlarının belirlenmesi amacıyla Ekim-Kasım 2020 tarihleri arasında Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi ve Sağlık Bilimleri Fakültesi öğrencilerinde öğrenim gören 607 öğrenci ile gerçekleştirilmiştir. Kesitsel tipte olan çalışmada örneklem alınmaksızın tüm fakülte öğrencilerine ulaşılması amacıyla çevrim içi (online) anket yöntemi uygulanmıştır. Öğrencilerin %12,4'üne ulaşılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde SPSS paket programı kullanılmıştır. Tanımlayıcı istatistikler kategorik değişkenler için sayı, yüzde (%); sürekli değişkenler için aritmetik ortalama ( $\bar{X}$ ), ve standart sapma (S) ile verilmiştir. Kategorik değişkenlerin karşılaştırılmasında Ki-kare testi ( $\chi^2$ ) kullanılmıştır. Öğrencilerin yaş ortalamaları 20,71±2,95 yıldır. Öğrencilerin 493'ü (%81,2) kadın, 114'ü (%18,8) erkektir. Öğrencilerin probiyotik bilgi düzeyi orta düzeydedir. Öğrencilerin %73,5'i probiyotik besin tükettiğini belirtmiştir. Probiyotik bilgi düzeyi yüksek olanların daha çok probiyotik besin tükettiği belirlenmiştir (U= 25339,0; p<0,001). Kız öğrencilerin probiyotik besin tüketme durumu erkek öğrencilere göre daha yüksek olduğu saptanmıştır ( $\chi^2=21,645$ ; p<0,001). Probiyotik besin tüketenlerin %66,4'ü ambalajında "probiyotik" ibaresi bulunan yoğurt tükettiği, %73,8'i sindirim sistemine faydalı etkisi görmesi nedeniyle tükettiği, %38,1'i bu besinleri günde 1 kez tükettiği, %47,5'i bu besinleri internetten öğrendiği, %73,8'i bu besinlerin etiketi ve içeriğine dikkat ettiği, %83,4'ü bu besinleri buzdolabında sakladığı %82,5'i bu besinleri tüketmeleri için çevresine önerdiği belirlenmiştir. Probiyotik besin tüketmeyenlerin %62,1'i ne olduğunu bilmemesi nedeniyle tüketmediği saptanmıştır. Bu bakımdan kişilerin probiyotik bilgi düzeyinin artırılması probiyotik besin tüketimi üzerinde olumlu etkileri olabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Probiyotik, üniversite öğrencileri, tüketim durumları, bilgi düzeyi.

## Determination of Probiotic Knowledge Level and Consumption Status of University Students

### Abstract

While studies on probiotics from past to present have generally focused on the disease, studies showing the effects of probiotic foods consumption status, probiotic knowledge levels and probiotic knowledge level on probiotic food consumption are limited. This study was carried out with 607 students studying at Pamukkale University Faculty of Education and Faculty of Health Sciences between October and November 2020 to determine the probiotic knowledge levels and consumption status of Pamukkale University students. In the cross-sectional study, an online survey method was applied to reach all faculty students without sampling. 12.4% of the students have been reached. SPSS package program was used to evaluate the data. Descriptive statistics for categorical variables number, percent (%); for continuous variables are given with arithmetic mean ( $\bar{X}$ ), and standard deviation (S). Chi-square test ( $\chi^2$ ) was used to compare categorical variables. The mean age of the students is 20.71±2.95 years. Of the students, 493 (81.2%) were female and 114 (18.8%) were male. The probiotic knowledge level of the students is moderate. 73.5% of the students stated that they consume probiotic food. It was determined that those with high probiotic knowledge consumed more probiotic foods (U= 25339.0; p<0.001). It was determined that female students' consumption of probiotic food was higher than male students ( $\chi^2=21,645$ ; p<0.001).

\* Corresponding Author: [batuhan\\_horasan@hotmail.com](mailto:batuhan_horasan@hotmail.com)



Of those who consume probiotic food, 66.4% consume yogurt with the expression “probiotic” on its package, 73.8% consume it because it has a beneficial effect on the digestive system, 38.1% consume these foods once a day, 47.5% of learned these foods from the internet, 73.8% paid attention to the label and content of these foods, 83.4% kept these foods in the refrigerator, and 82.5% recommended these foods to their surroundings to consume. It was determined that 62.1% of those who did not consume probiotic food did not consume it because they didn't know what it was. Therefore, it is thought that increasing the probiotic knowledge level of people may have positive effects on probiotic food consumption.

**Keywords:** Probiotic, university students, consumption status, level of knowledge.

## 1. Giriş

Beslenme, insanın büyüme, gelişme, sağlıklı ve üretken olarak uzun yıllar yaşaması için gerekli olan besin öğelerini yeterli miktarda alıp vücudunda kullanmasıdır. Bu öğelerin gerektiğinden eksik veya fazla alınmasının, sağlığı olumsuz yönde etkilediği bilimsel çalışmalarda gösterilmiştir (Çalıştır vd 2005). Bu durum günümüzde sağlıklı beslenme isteğini arttırmış, kişilerin besin destek ürünlerine ve fonksiyonel besinlere olan merakının artmasına neden olmuştur (Yabancı ve Şimşek 2007). Fonksiyonel besinler yapılarında bulunan bileşenler ile vücudun gerekli besin ihtiyaçlarını karşılamasına ek olarak, sağlığı geliştiren, hastalıklardan korunmada etkili olabilen ve yaşam kalitesini artıran besinlerdir (Demir ve Aktaş 2018). Fonksiyonel besinler sınıfında probiyotik besinler önemli yer tutmaktadır (Kağan vd 2019).

Probiyotik kelimesi Yunanca kökenli olup “yaşam için” anlamına gelmektedir (Gomes ve Malcata 1999). Probiyotikler hakkında önemli çalışmalar yapan Elie Metchnikoff, Bulgar halkıyla diğer ulusları karşılaştırıp, Bulgarların daha uzun süre yaşadığını belirtmiş ve bu durumun nedenini canlı bakteri içeren süt ürünleri tüketimi olduğunu ifade etmiştir (Parkes 2007). Metchnikoff'tan sonra probiyotikler üzerine birçok araştırma yapılmış olup günümüzde ISAPP (Probiyotik ve Prebiyotikler Uluslararası Bilimsel Derneği) tarafından değiştirilen hali bilimsel ve medikal literatürde kullanılmaktadır. Bu tanımlama; “yeterli miktarda alındığında konakçının sağlığına olumlu etkileri olan, yaşayan organizmalar” şeklindedir (İmamli ve Akça 2018).

Probiyotik mikroorganizmaların büyük çoğunluğunu, *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* ailesi oluşturmaktadır. Probiyotik özellikleri kanıtlanmış tek maya türü ise *S. cerevisiae Boulardii'dir* (Çoşkun 2014). Bir mikroorganizmanın probiyotik olarak sayılabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekir. Bunlar, insan ve hayvanlarda kullanıldığında yan etki oluşturmama, bağırsak hücrelerine tutunabilme ve bağırsaklarda kolonize olabilme, besinlere ilave edildiğinde canlılığını sürdürme ve aktivitesini koruyabilme, konak için patojen olmama, normal florayı bozmadan patojen bakterileri inhibe etme, antibiyotiğe karşı dirençli olma ve çok suşlu ürünlerin üretiminde kullanılma gibi özelliklerdir (Bakır 2012).

Probiyotiklerin insan sağlığı açısından; immün sistemin uyarılması ve regülasyonu, enfeksiyonları önleme ve tedavi etme, inflamatuvar bağırsak hastalıklarının tedavisi ve atakların önlenmesi, laktoz intoleransının önlenmesi, kanser oluşumunun azaltılması, kan kolesterol seviyesinin düşürülmesi, çocuklarda alerjik reaksiyonların ortaya çıkışının geciktirmesi, kadınlarda vajinal ve üriner sistem enfeksiyonlarının tedavi edilmesi ve önlenmesi gibi olumlu etkileri bulunmaktadır (Derin ve Keskin 2013, Usta ve Urgancı 2014).

Probiyotiklerin etkisi probiyotiğin türüne, kullanılan suşa, dozuna ve veriliş yoluna göre değişmektedir.

Bu sebeple, bir probiyotik bakterideki belirlenen etkiler bütün probiyotik mikroorganizmalar için geçerli değildir. Probiyotikler sıklıkla güvenilir olması ve iyi tolere edilmesi nedeniyle genellikle ağız yoluyla kullanılmalıdır (Çoşkun 2014). Bununla birlikte probiyotik mikroorganizmalar içeren probiyotik besinler düzenli tüketilmelidir (Kundakçı ve Ergönül 2006).

Üniversite öğrencilerinin, çocukluk dönemi sonrası üniversite eğitiminin başlaması ile alışkın oldukları aile ortamından ayrılmaları, çevresel etkenlere daha açık hale gelmeleri ve daha çok kendi seçimlerini kendileri yapmaları ile beslenmelerinde yeni bir dönem başlamaktadır. Bu sebeple üniversite öğrencilerinin beslenmelerine yönelik çalışmalar önem kazanmıştır (Aydın vd 2010). Ancak probiyotiklerle ilgili yapılan çalışmalar, genelde hastalık üzerinde yoğunlaşırken, probiyotiklerin tüketim durumlarını ve bilgi düzeylerini gösteren çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu noktada çalışmamızın literatüre katkı sağlayacağı düşüncesindeyiz.

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi öğrencilerinin probiyotik bilgi düzeyleri ile probiyotik besin tüketim durumlarının belirlenmesi ve probiyotik bilgi düzeyi ve cinsiyete göre probiyotik besin tüketim durumunu incelemek için yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Araştırma Yöntemi ve Örneklemi

Araştırma; Ekim-Kasım 2020 tarihleri arasında Pamukkale Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi ve Eğitim Fakültesinde okuyan (n=4871) lisans öğrencilerinin, probiyotik besinler hakkındaki bilgi düzeyleri ve tüketim durumlarını saptamak amacı ile yapılmıştır. Araştırmanın evrenini Sağlık Bilimleri Fakültesi ve Eğitim Fakültesinde okuyan öğrenciler oluşturmıştır. Araştırmada örneklem seçimine gidilmemiştir. Sağlık Bilimleri Fakültesi ve Eğitim Fakültesi'nde okuyan bütün öğrencilerin çalışmaya katılması hedeflenmiş olup 607 öğrenciye ulaşılmıştır. Veriler, araştırmacı tarafından ilgili literatürden yararlanılarak ve uzman görüşleri alınarak hazırlanmış anket formuyla çevrim içi (online) anket yöntemiyle toplanmıştır. Anket formu dört bölümden oluşmakta olup, ilk bölüm öğrencilerin sosyodemografik özelliklerini içeren sorulardan, ikinci bölüm öğrencilerin probiyotiklerle ilgili bilgi düzeyini ölçmek amacıyla literatür taranarak oluşturulmuş sorulardan oluşmaktadır. Literatür taranarak oluşturulmuş 17 soruluk bilgi sorularının cevapları ‘katılıyorum’, ‘katılmıyorum’, ‘bilmiyorum’ şeklindedir. Katılımcılar doğru önermelere katıldığında 1, katılmadığında ya da bilmediğinde 0 puan almaktadırlar (14. ve 16. sorularda katılmayanlar 1 puan almaktadırlar). Anket formunda alınabilecek maksimum puan 17, minimum puan ise 0'dır. Yüksek puan probiyotiklere yönelik

daha yüksek bilgi düzeyini içermektedir. Üçüncü bölüm probiyotik besinler hakkındaki tutum ve davranış özelliklerini içeren sorulardan oluşmaktadır. Dördüncü bölüm ise toz, tablet veya şaşe formundaki gıda takviyesi probiyotik ürünlerle ilgili sorulardan oluşmaktadır.

## 2.2. Verilerin Değerlendirilmesi

Verilerin değerlendirilmesinde SPSS 17.0 paket programı kullanılmıştır. Tanımlayıcı istatistikler kategorik değişkenler için sayı, yüzde (%); sürekli değişkenler için aritmetik ortalama ( $\bar{X}$ ) ve standart sapma (S) ile verilmiştir. Kategorik değişkenlerin karşılaştırılmasında Ki-kare testi kullanılmıştır. Testte verilen yanıtların normal dağılıma uygun olup olmadıkları Kolmogorov-Smirnov analiz yöntemi ile test edilmiştir. Bağımsız grup farklılıklarının karşılaştırılmasında Mann-Whitney U testi

kullanılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi  $p < 0,05$  anlamlı olarak kabul edilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Öğrencilere ait Sosyo-Demografik Özellikler

Çalışmaya katılan öğrencilerin yaş ortalaması  $20,71 \pm 2,95$  yıldır. Öğrencilerin %81,2'si kadın %18,8'i erkektir. Öğrencilerin %75,0'ı Eğitim Fakültesi'nde %25,0'ı Sağlık Bilimleri Fakültesi'nde olduğu görülmektedir. (Tablo 1).

Tablo 1. Katılımcıların Sosyo-Demografik Özellikleri (N=607)

	Ortalama	$\pm$ SS
<b>Yaş</b>	20,71	2,95
	Sayı (n)	Yüzde (%)
<b>Cinsiyet</b>		
Kadın	493	81,2
Erkek	114	18,8
<b>Fakülte</b>		
Eğitim Fakültesi	455	75,0
Sağlık Bilimleri Fakültesi	152	25,0
<b>Okunulan bölüm</b>		
Fen Bilgisi Öğretmenliği	42	6,9
Hemşirelik	152	25,0
İlköğretim Matematik Öğretmenliği	49	8,1
İngilizce Öğretmenliği	59	9,7
Okul Öncesi Öğretmenliği	97	16,0
Rehberlik ve Psikolojik Danışmanlık	65	10,7
Sınıf Öğretmenliği	27	4,4
Sosyal Bilgiler Öğretmenliği	27	4,4
Türkçe Öğretmenliği	49	8,1
Diğer Eğitim Fakültesi Bölümleri	40	6,6
<b>Sınıf</b>		
1	211	34,8
2	158	26,0
3	107	17,6
4	131	21,6
<b>Eğitim hayatı süresince genel olarak kalınan yer</b>		
Ailemle birlikte evde	332	54,7
Tek başıma evde/apartta	37	6,1
Arkadaşlarımla birlikte evde/apartta	43	7,1
Devlet yurdunda	159	26,2
Özel yurttta	27	4,4
Diğer	9	1,5

Diğer Eğitim Fakültesi bölümleri Beden Eğitimi ve Spor Öğretmenliği, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Öğretmenliği, Müzik Öğretmenliği, Özel Eğitim Öğretmenliği ve Resim İş Öğretmenliği bölümlerinden oluşmaktadır.

### 3.2. Öğrencilerin Probiyotikler Hakkında Bilgi Düzeyi

Öğrencilerin probiyotik ile ilgili 17 sorudan elde ettikleri ortalama bilgi düzeyi puanı 8,44 ve ortanca bilgi düzeyi puanı 9 olarak saptanmıştır. Probiyotik bilgi düzeyini ölçmeyi sağlayan sorulardan en az 0, en fazla 17 puan elde edilebilecekleri göz önünde bulundurulduğunda orta düzeyde bilgi düzeyine sahip oldukları belirlenmiştir (Tablo 2). Zemzemoğlu ve arkadaşlarının üniversite öğrencileri üzerinde yaptığı araştırmada, öğrencilerin %68,6'sı probiyotiklerle ilgili orta seviyede bilgi düzeyine sahip olduğu belirtmiştir (Zemzemoğlu vd 2019).

Aslantürk'ün beslenme ve diyet kliniğine başvuran kişiler üzerinde yaptığı çalışmada "probiyotik" terimini tanımlayabilme düzeyinin %85 oranında olduğu belirtilmiştir (Aslantürk 2019). Stanczak ve Heuberger'in bölge halkı üzerinde yaptığı çalışmada probiyotik terimini doğru olarak bilen katılımcı oranı %43,9 olarak belirlenmiştir (Stanczak ve Heuberger 2009). Payahoo ve arkadaşlarının tıp öğrencileri üzerinde yaptığı çalışmada öğrencilerin probiyotik bilgi sorularından yola çıkarak %51'inin iyi probiyotik bilgi düzeyine sahip olduğu belirtilmiştir (Payahoo 2012). Anukam ve arkadaşlarının doktorlar üzerinde yaptığı bir çalışmada katılımcıların %95,2'si probiyotik terimini bilmediğini belirtmiştir (Anukam vd 2006). Bu bakımdan literatürde farklı sorgulama yöntemleri kullanılarak bulunan probiyotik bilgi düzeyi sonuçları çeşitlilik göstermektedir.

Tablo 2. Çalışmaya katılan öğrencilerin probiyotikler ile ilgili bilgi düzeyi durumu

	Ortalama±SS	Ortanca (ÇAA*)
Probiyotikler ile ilgili bilgi düzeyi toplam puan	8,44±4,51	9,0 (7,0)

\*Çeyrekler arası aralık

### 3.3. Öğrencilerin Probiyotik Ürün Tüketim Durumları ve Alışkanlıklarına İlişkin Bilgiler

Çalışmamızda öğrencilerin %73,5'inin probiyotik besin tükettiği, %26,5'inin ise probiyotik besin tüketmediği saptanmıştır. Öğrencilerin %73,8'i, probiyotik besin tüketim nedeni olarak sindirim sistemine faydalı etkisinden dolayı tüketenler oluşturmaktadır (Tablo 3). Çalışmamızda öğrencilerin probiyotik besin tüketim nedeni olarak en çok sindirim sistemine faydalı etkisinden dolayı tüketenler oluşturmaktadır.

Öztürk'ün yaptığı çalışmada katılımcıların %88,4'ü probiyotik besinleri bağırsak sağlığına faydalı olması nedeniyle tükettiğini belirtmiştir (Öztürk 2018). Zeren'in yaptığı çalışmada katılımcıların %61,7'si sindirim sistemine faydalı olması nedeniyle probiyotik besin tüketmektedir (Zeren 2015). Balkış'ın yaptığı çalışmada katılımcıların %67,9'u sindirim sistemi sorunları nedeniyle probiyotik besin tüketmektedir (Balkış 2011). Şengün ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada katılımcıların %63,9'unun sindirim sistemine faydası olması nedeniyle probiyotik besin tükettiği saptanmıştır (Şengün vd 2020). Çalışmamız en sık probiyotik besin tüketilme nedeni bakımından yapılan diğer çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Tablo 3. Öğrencilerin probiyotik besin tüketme nedenleri

Probiyotik besin tüketme nedenleri*,**	Sayı (N)	Yüzde (%)
Sindirim sistemime faydalarını gördüm.	329	73,8
Kansere karşı koruyucu olduğunu düşünüyorum.	60	13,5
Lezzetli buluyorum.	233	52,2
Bağıışıklık sistemini güçlendiriyor.	315	70,6
Yakınlarım önerdiği için kullanıyorum.	64	14,3
Probiyotik tüketimimde reklamların etkisinde kalıyorum.	33	7,4
Diyetisyenim veya doktorum önerdiği için tüketiyorum.	56	12,6
Diğer	5	1,1

\* Birden fazla seçenek işaretlenebileceği belirtilmiştir.

\*\* Probiyotik besin tüketenler üzerinden hesaplanmıştır.

Öğrencilerde probiyotik besin tüketme nedeni olarak; %62,1'i probiyotik ne olduğunu bilmediği için tüketmediğini belirtmiştir (Tablo 4). Derin ve Keskin'in üniversite öğrencileri üzerinde yaptığı çalışmada, probiyotik ürün tüketmeyen öğrencilerin %49,2'si probiyotik besinin ne olduğunu bilmediği için tüketmediği belirtilmiştir (Derin ve Keskin 2013). Aydın ve arkadaşlarının üniversite öğrencileri üzerinde yaptıkları

çalışmada probiyotik ürün tüketmeyen öğrencilerin %54,7'si bu ürünleri bilmediklerini belirtmişlerdir (Aydın vd 2010). Yapılan çalışmalardan yola çıkarak probiyotik besin tüketmeme nedeni olarak başlıca sebep ne olduğunun bilinmemesidir. Bu bakımdan kişilerin probiyotik bilgi düzeyinin artırılmasının probiyotik besin tüketimi üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceği düşünülmektedir.

Tablo 4. Öğrencilerin probiyotik ürünleri tüketmeme nedenleri

Probiyotik besin tüketilmeme nedenleri *, **	Sayı (N)	Yüzde (%)
Ne olduğunu bilmeme	100	62,1
Doğal bulmama	10	6,2
İhtiyaç duymama	43	26,7
Pahalı bulma	15	9,3
Lezzetsiz bulma	12	7,5

\* Birden fazla seçenek işaretlenebileceği belirtilmiştir.

\*\* Probiyotik besin tüketmeyenler üzerinden hesaplanmıştır.

Probiyotik besin içerisinde raf ömrü bitene kadar yeterli miktarlarda canlı mikroorganizma içeren besindir (Yalçın ve Yalçın 2014). Türk Gıda Kodeksi Etiketleme Yönetmeliği'ne göre bir gıdanın probiyotik olarak tanımlanabilmesi için en az  $1 \times 10^6$  koloni oluşturan birim (kob)/gram probiyotik mikroorganizma içermesi gerekmektedir (Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2011). Probiyotik bir besin birden fazla bakteri türü ve bunların suşlarını içerebilmektedir (Bozkurt ve Aslım 2004). Bu durumlar probiyotik besin seçimini oldukça önemli hale getirmektedir. Çalışmamızda probiyotik besin tüketen öğrencilerin en fazla oranda tükettiği probiyotik besin, ambalajında “probiyotik” ibaresi bulunan yoğurttur (Tablo 5). Eser'in bölge halkı üzerinde yaptığı çalışmada probiyotik olarak en fazla tüketilen ürünün yoğurt olduğu saptanmıştır (Eser 2017). Çalışmamız en çok tüketilen probiyotik besin çeşidi bakımından yapılan diğer çalışma ile benzerlik göstermektedir.

Çalışmamızda probiyotik besinler tüketen öğrencilerin %38,1'i günde 1 kez, %24'ü haftada bir kez, %15,9'u günde 2-3 kez, %12,6'sı nadiren ve %9,4'ü ayda 1-3 kez tüketmektedir (Tablo 5). Benzer şekilde Zeren'in yaptığı çalışmada probiyotik besin tüketim sıklıkları; %24,4'ü günde 1 kez, %23,3'ü nadiren, %19,8'i haftada bir kez, %17,4'ü ayda 1-3 kez ve %15,1'i günde 2-3 kez tüketmektedir (Zeren 2015). Bağırsaktaki kolonizasyon geçici olması sebebiyle probiyotiklerin bağırsaktaki koruyucu etkisinin devam edebilmesi için, düzenli tüketilmelidir (Ceyhan ve Alıç 2012). Bu bakımdan çalışmamızda nadiren probiyotik besin tüketenlerin oranı diğer çalışmadan az olması sevindirici bir sonuçtur.

Çalışmamızda probiyotik besini öğrenme kaynağının en fazla oranda internet olduğu saptanmıştır (Tablo 5). Sevilmiş'in, yapmış olduğu çalışmada katılımcıların %32'si fonksiyonel ürünleri en fazla televizyon reklamlarından duyduğunu belirtmiştir (Sevilmiş 2008). Bireylerin herhangi bir ürünü tercih etmesinde televizyon reklamlarının ve internetin etkili bir rol

oynadığı yapılan çalışmalardan görülmektedir. Bu bakımdan çalışmamızın yapılan çalışmadan farklı olarak en fazla oranda internet kullanımının artması, günümüzde internetin bilgiye kolay ulaşılmasını sağlamasından dolayı ön plana çıkardığı düşünülmektedir.

Çalışmamızda öğrencilerin probiyotik besin satın alırken, %73,8'i besin etiketi ve içeriğine, %55,6'sı markasına, %34,8'i fiyatına, %9,6'sı görünüşüne ve %2,5'i diğer kriterlere dikkat etmektedir (Tablo 5). Aslantürk'ün beslenme ve diyet kliniğine gelen kişiler üzerinde yaptığı çalışmada, probiyotik besin satın alırken %64,2 oranıyla besin etiketi ve içeriğine dikkat edildiği belirtilmiştir (Aslantürk 2019). Eser'in bölge halkı üzerinde yaptığı çalışmada katılımcıların probiyotik besinler ile ilgili en fazla dikkat ettiği kriter etiket bilgileridir (Eser, 2017). Bu bakımdan çalışmamız yapılan diğer çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Tüketicilerin alacağı besinin etiket bilgilerini okuması başlıca sorumluluklarındandır. Bu bakımdan kişilere besin etiketi okuma alışkanlığı edinimi açısından gerekli eğitimler yapılarak besin etiketi ve içeriği alışkanlığının artırılması gerekmektedir.

Çalışmamızda saklama biçimi olarak en fazla buzdolabı tercih edilmektedir (Tablo 5). Buzdolabında saklanan probiyotik besinlerin raf ömrü 3-6 hafta arasında değişkenlik gösterebilmektedir. Bu besinler buzdolabında saklanmayanlara göre daha uzun süre muhafaza edilebilmektedir (Bilginer ve Çetin 2019). Bu sebeple öğrencilerin saklama biçimi olarak çoğunluğunun probiyotik besinleri dolapta değil de buzdolabında saklamaları olumlu bir sonuç olarak düşünülebilir.

Çalışmamızda öğrencilerin büyük bir çoğunluğu probiyotik besinleri çevresine önermektedir (Tablo 5). Çevreye önerme durumunu etkileyen birden fazla faktör olacağı düşünülmekle birlikte temel neden olarak kişilerin probiyotiklerin kendisine fayda sağlaması sebebiyle çevresine önerdiği düşünülmektedir.

Tablo 5. Öğrencilerin Probiyotik Besin Tüketim Alışkanlıklarına İlişkin Bulgular

	Sayı (N)	Yüzde (%)
<b>Probiyotik besin tüketenler</b>		
Evet	446	73,5
Hayır	161	26,5
<b>Tüketilen probiyotik besin çeşitleri*,**</b>		
Ambalajında “probiyotik” ibaresi bulunan yoğurt	296	66,4
Ambalajında “probiyotik” ibaresi bulunan süt	197	44,2



Ambalajında “probiyotik” ibaresi bulunan peynir	147	33,0
Ambalajında “probiyotik” ibaresi bulunan kefir	188	42,2
Ambalajında “probiyotik” ibaresi bulunan ayran	174	39,0
Diğer	35	7,8
<b>Probiyotik besin tüketim sıklığı**</b>		
Günde 1 kez	170	38,1
Günde 2-3 kez	71	15,9
Haftada 1 kez	107	24,0
Ayda 1-3 kez	42	9,4
Nadiren	56	12,6
<b>Probiyotik besinleri öğrenme kaynağı*,**</b>		
Uzman (Doktor veya diyetisyen)	148	33,2
Arkadaş, tanıdık, aile vb.	195	43,7
Eğitim, konferans, bilimsel toplantı	112	25,1
Eczane ve satış noktaları	64	14,3
İnternet	212	47,5
Diğer	5	1,1
<b>Probiyotik besin satın alırken dikkat edilen kriterler*,**</b>		
Fiyat	155	34,8
Marka	248	55,6
Besin etiketi, içeriği	329	73,8
Görünüş	43	9,6
Diğer	11	2,5
<b>Probiyotik besinlerin saklanma biçimi**</b>		
Buzdolabı	372	83,4
Dolap	43	9,6
Saklamıyorum hemen tüketiyorum	31	7,0
<b>Probiyotik besinleri tüketmeleri için çevresine önerme durumu**</b>		
Evet	368	82,5
Hayır	5	1,1
Kararsızım	73	16,4

\* Birden fazla seçenek işaretlenebileceği belirtilmiştir.

\*\* Probiyotik besin tüketenler üzerinden hesaplanmıştır.

Çalışmamızda cinsiyete göre probiyotik besin tüketme durumuna bakıldığında kadınların daha yüksek oranda probiyotik besin tükettiği görülmüştür ve bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır ( $\chi^2=21,645$  ; $p<0,001$ ) (Tablo 6). Yabancı ve Şimşek’in yapmış oldukları çalışmada kız öğrenciler erkek öğrencilere göre daha fazla probiyotik ürün tüketmektedir ( $p<0,05$ ) (Yabancı ve Şimşek 2007). Zeren’in yaptığı çalışmada

kadınların erkeklere göre daha fazla probiyotik besin tükettiği saptanmıştır ( $p<0,05$ ) (Zeren 2015).

Benzer şekilde Aydın ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada kız öğrencilerin daha fazla probiyotik besin tükettiği belirlenmiştir ( $p<0,05$ ) (Aydın vd 2010). Çalışmamız yapılan diğer çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Bu durum kadınların besin tüketme durumu, sağlık, beslenme ve fiziksel görünümüne erkeklerden daha fazla önem vermelerine bağlanabilir.

Tablo 6. Öğrencilerin cinsiyete göre probiyotik besinleri tüketim durumları

Cinsiyet	Probiyotik besin tüketenler				$\chi^2$ ; p
	Evet		Hayır		
	Sayı (N)	Yüzde (%)	Sayı (N)	Yüzde (%)	
Erkek	64	56,1	50	43,9	21,645; <0,001
Kadın	382	77,4	111	22,6	

Çalışmamızda probiyotik bilgi düzeyi ile probiyotik besin tüketme durumu arasında anlamlı bir ilişki saptanmış olup probiyotik bilgi düzeyi yüksek olanlar daha çok probiyotik besin tüketmektedir (U= 25339,0; p<0,001) (Tablo 7). Demirel'in üniversite öğrencilerinde yaptığı çalışmada probiyotikler ile ilgili bilgi sorularından aldıkları toplam puanlar ile probiyotik ürünleri tüketim miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı

korelasyon saptanmamıştır (p>0,05) (Demirel 2018). Serinçay'ın tıpta uzmanlık eğitimi alan hekimlerde yaptığı çalışmada probiyotik kelimesinin tanımını bilmekle probiyotik katkılı ürün kullanma arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (p=0,112) (Serinçay 2021). Çalışmamız yapılan diğer çalışmalardan farklılık göstermektedir.

Tablo 7. Öğrencilerin Probiyotik bilgi durumuna göre probiyotik besin tüketme durumu

	Probiyotik besin tüketenler (N=446)	Probiyotik besin tüketmeyenler (N=161)	U; p
<b>Probiyotikler ile ilgili bilgi düzeyi toplam puanı, Ortanca (ÇAA*)</b>	9,0 (6,0)	6,0 (9,0)	<b>25339,0; &lt;0,001</b>

\*Çeyrekler arası aralık

#### 4. Sonuç

Çalışmamıza katılan öğrencilerin probiyotik bilgi düzeyinin orta düzeyde olduğu saptanmıştır. Çalışmamızda probiyotik bilgi düzeyi yüksek olan öğrenciler daha fazla probiyotik besin tüketmektedir. Bu bakımdan bir besinin tüketilmesinde o besinle ilgili bilgi sahibi olunmasının o besinin tüketilmesini etkilediği düşünülmektedir.

Probiyotik besinler, günümüzün önemli araştırma konularından birini oluşturmaktadır. Geleceğin sağlık çalışanlarının ve öğretmenlerinin probiyotik besinler ile ilgili iyi düzeyde bilgi sahibi olmaları, bu bilgileri aktarabilmeleri ve kendi beslenme planına uyarlayarak topluma örnek olmalarının toplum beslenmesi açısından oldukça önemli olacaktır.

#### Kaynakça

- [1] Anukam KC, Osazuwa EO, Reid G. Knowledge Of Probiotics By Nigerian Clinicians. *International Journal of Probiotics and Prebiotics*, 2006; 1 (1): 57-62.
- [2] Aslantürk A. Yetişkin Bireylerin Probiyotik Besinler Hakkında Bilgi Düzeyleri ve Tüketim Durumlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Haliç Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul, 2019, s. 63.
- [3] Aydın M, Açıkgöz İ, Şimşek B. Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Öğrencilerinin Probiyotik Ürün Tüketimlerinin ve Probiyotik Kavramının Bilinme Düzeyinin Belirlenmesi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2010; 5 (2): 1-6.
- [4] Bakır BO. Prebiyotik, Probiyotik ve Sinbiyotiklere Genel Bakış. *Beslenme ve Diyet Dergisi* 2012; 40 (2): 178-182.
- [5] Balkış M. Lise Öğrencilerinin Beslenme Alışkanlıkları, Probiyotik Süt Ürünleri Tüketim Sıklıkları ve Bilgilerinin Belirlenmesi: Kulu Örneği. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Konya, 2011, s. 127.
- [6] Bilginer Ç, Çetin B. Probiyotikler ve Belirlenmelerinde Kullanılan *in vitro* Testler. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg* 2019; 50 (3): 312-325.
- [7] Bozkurt H, Aslım B. İmmobilizasyonun Probiyotik Kültürlerde Kullanımı. *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi* 2004; 2 (7): 1-14.
- [8] Ceyhan N, Alıç H. Bağırsak Mikroflorası ve Probiyotikler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 2012; 5 (1): 107-113.
- [9] Çalışır B, Dereli F, Eksen M, Aktaş S. Muğla Üniversitesi Öğrencilerinin Beslenme Konusunda Bilgi Düzeylerinin

Belirlenmesi. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi* 2005; 2 (2): 1-8.

- [10] Çoşkun, T. "Probiyotikler", Teoriden Kliniğe Prebiyotikler Probiyotikler, Eds. Kara A, Çoşkun T, *Akademi Yayınevi*, İstanbul, 2014, s.56-70.
- [11] Demir G, Aktaş N. Üniversite Öğrencilerinin Fonksiyonel Besin Bilgi, Tercih ve Tüketimleri Üzerine Bir Araştırma. *Journal of Human Sciences* 2018; 15 (4): 2387-2397.
- [12] Demirel G. Beslenme Eğitimi Alan ve Almayan Üniversite Öğrencilerinin Probiyotik Besinler Hakkındaki Bilgi Düzeyleri ve Tüketme Durumları Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Doğu Akdeniz Üniversitesi Lisansüstü Eğitim, Öğretim ve Araştırma Enstitüsü, Gazimağusa, 2018, s. 127.
- [13] Derin DÖ, Keskin S. Gıda Mühendisliği Öğrencilerinin Probiyotik Ürün Tüketim Durumlarının Belirlenmesi: Ege Üniversitesi Örneği. *Gıda* 2013; 38 (4): 215-222.
- [14] Eser AG. Probiyotikler Konusunda Tüketicilerin İlgi ve Kanaatleri (Çanakkale-Biga Örneği). *Van Vet J* 2017; 28 (1): 25-30.
- [15] Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. Türk Gıda Kodeksi Etiketleme Yönetmeliği. Resmi Gazete; 29.12.2011. 41 s. Rapor No:28157 (ek 15)
- [16] Gomes AMP, Malcata FX. Bifidobacterium spp. and Lactobacillus acidophilus: Biological, biochemical, technological and therapeutical properties relevant for use as probiotics. *Trends in Food Science and Technology* 1999; 10: 139-157.
- [17] İmam H, Akça F. Probiyotik Kullanımının Sağlığa ve Sportif Performansa Etkileri. *Sportmetre* 2018; 16 (2): 196-208.
- [18] Kağan DA, Özlü T, Yurttaş H. Yetişkin Bireylerin Probiyotik Gıdaları Bilme ve Tüketme Durumları Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2019; (17): 556-563.
- [19] Kundakçı A, Ergönül B. Probiyotik Gıda Nedir? Ne Değildir?. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, Bolu, 2006, s.93-96.
- [20] Öztürk MR. Kadınların Probiyotik Besinler Hakkında Bilgi Düzeyi ve Tüketim Durumlarının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Okan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2018, s. 70.
- [21] Parkes GC. An overview probiotics and prebiotics. *Nurs Stand*. 2007; 21 (20): 43-47.
- [22] Payahoo L, Nikniaz Z, Mahvadi R, Jafar-Abadi MA. perceptions of medical sciences students towards probiotics. *Health Promot Perspect* 2012; 2(1): 96-102.

- [23] Serinçay H. Tıpta Uzmanlık Eğitimi Alan Hekimlerin Probiyotikler İle İlgili Bilgi Düzeyleri Ve Tutumları. Uzmanlık Tezi, Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Aile Hekimliği Anabilim Dalı, Bursa, 2021, s. 67.
- [24] Sevilmiş G. Bazı Fonksiyonel Gıdalarda Tüketici Kararları ve Bunları Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2008, s. 107.
- [25] Stanczak M, Heuberger R. Assessment of the knowledge and beliefs regarding probiotic use. *American Journal of Health Education* 2009; 40 (4): 207-211.
- [26] Şengün İY, Kırmızıgül A, Özaydın İ, Yarım H. Tüketicilerin probiyotik ve prebiyotik gıdalara yönelik bilgi düzeyleri ve tüketim durumlarının belirlenmesi: İzmir/Bornova örneği. *GIDA* 2020; 45 (1): 103-114.
- [27] Usta M, Urgancı N. Çocukluk Çağında Probiyotik Kullanımı. *Güncel Pediatri* 2014; 12 (2): 88-94.
- [28] Yabancı N, Şimşek I. Üniversite Öğrencilerinin Probiyotik Ürün Tüketim Durumları. *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni* 2007; 6 (6): 449-454.
- [29] Yalçın S, Yalçın S. "Probiyotik Gıdalar", Teoriden Kliniğe Prebiyotikler Probiyotikler, Eds. Kara A, Çoşkun T, Akademi Yayınevi, İstanbul, 2014, s.405-432.
- [30] Zemzemoğlu TEA, Uludağ E, Uzun S. Üniversite Öğrencilerinin Probiyotik Bilgi Düzeyi ve Tüketim Durumlarının Belirlenmesi. *Gıda* 2019; 44 (1): 118-130.
- [31] Zeren R. Yetişkin Bireylerin Probiyotik Besinler Hakkında Bilgi Düzeyi ve Tüketim Durumlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, s. 56.



# Aydın, Karpuzlu, Alında Antik Kentinde Tarihi Çevrenin Korunması Çalışmalarında Arkeojeofizik Çalışmaları

Fethi Ahmet Yüksel<sup>1\*</sup>, Murat Çekilmez<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2207-1902), [fayuksel@iuc.edu.tr](mailto:fayuksel@iuc.edu.tr)

<sup>2</sup> Adnan Menderes Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Böl., Aydın, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5922-2973), [mcekilmez@gmail.com](mailto:mcekilmez@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 7 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 20 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1006044)

**ATIF/REFERENCE:** Yüksel, F. A. & Çekilmez, M. (2021). Aydın, Karpuzlu, Alında Antik Kentinde Tarihi Çevrenin Korunması Çalışmalarında Arkeojeofizik Çalışmaları. *European Journal of Science and Technology*, (31), 454-460.

## Öz

Alında antik kenti, Aydın ili, Karpuzlu (Demircidere) ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Alında Antik Kenti iki yüksek ve eğimli tepe üzerinde çok güçlü ve dayanıklı bir savunma sistemiyle çevrili olarak konumlanmıştır. Kent M.Ö. İkinci Binyıldan itibaren döneminin önemli bir ticari ve askeri merkezi olmuştur. Alında da ilk defa 2020 yılı Alında arkeolojik yüzey araştırmalarında, kent merkezinde yer alan tüm arkeolojik kültür varlıklarının yerinde korunması esasına uygun olarak, yeraltı ve yerüstündeki taşınır ve taşınmaz arkeolojik varlıkların, belgelenmesi amacıyla kültürel mirasın korunma durumları ve geleceğe aktarılması çalışmalarına başlanılmıştır. Bu amaçla yüzey araştırmaları ve arkeojeofizik çalışmalar yapılmıştır. Aydın İli, Karpuzlu İlçesi, Asar-1 Antika Mevkii, 2064 Parselde yer alan Alında Antik Kentinde akropolis üzerinde belirlenen üç bölgede, Akropol, Sarnıç alanı ve Gömülü Yapı alanında ve Çökmüş Gömülü yapı alanında, Jeoradar (Yerradarı-GPR) ölçümleri yapılmıştır. Araştırma alanında mimari yapı temeli görünümümlü geometrik form veren yüksek genlikli anomaliler görüntülenmiştir. Yapılması planlanan arkeolojik kazılarla bu yüksek genlikli anomalilerin lokasyonları kontrol edilerek, Alında Antik Kentinde tarihi çevrenin korunması çalışmalarında önemli katkılar sağlanır.

**Anahtar Kelimeler:** Arkeojeofizik, GPR, Aydın-Alında.

## Archeogeophysical Studies in the Preservation of the Historical Environment in the Ancient City of Aydın, Karpuzlu, Alında

### Abstract

Located in Aydın Province, Karpuzlu District, Asar-1 Antika Mevkii, Plot 2064 Alında ancient city is located within the borders of Karpuzlu (Demircidere) district of Aydın province. Alında Ancient City is located on two high and sloping hills surrounded by a very strong and durable defense system. The city has been an important commercial and military center of its period since the Second Millennium BC. In Alında, for the first time in 2020, in the archaeological surveys in Alında, in accordance with the principle of on-site preservation of all archaeological cultural assets in the city center, studies on the preservation status of cultural heritage and its transfer to the future were started in order to document the movable and immovable archaeological assets underground and aboveground. For this purpose, surface surveys and archeogeophysical studies were carried out. Georadar (Gerradar-GPR) measurements were made in the three areas determined on the acropolis in Alında Ancient City, in the Acropolis, Cistern area and Buried Structure area and in the Collapsed Buried Structure area. In the research area, high amplitude anomalies giving geometrical form with the appearance of architectural structure were observed. By controlling the locations of these high amplitude anomalies with the planned archaeological excavations, significant contributions are made to the preservation of the historical environment in the ancient city of Alında.

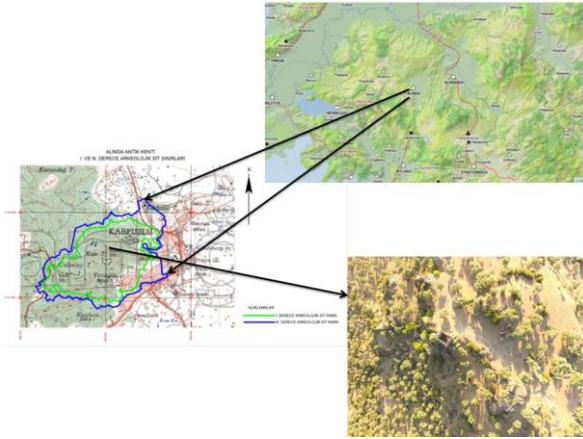
**Keywords:** Archaeogeophysics, GPR, Aydın-Alında.

\* Corresponding Author: [fayuksel@iuc.edu.tr](mailto:fayuksel@iuc.edu.tr)

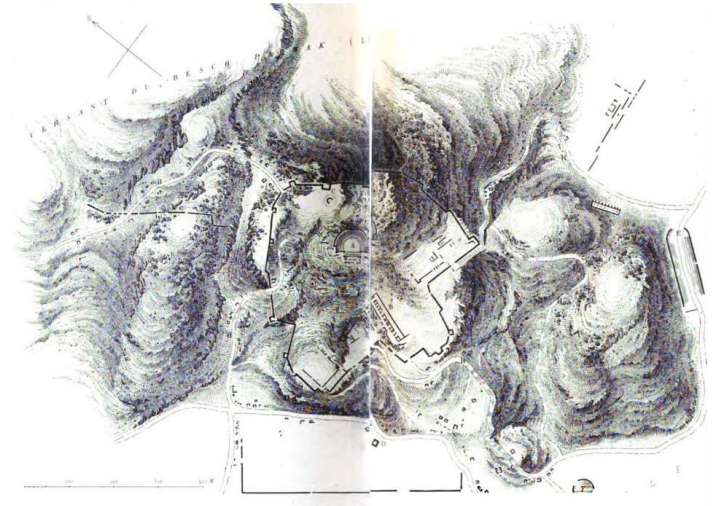


## 1. Giriş

Alinda antik kenti, Aydın ili, Karpuzlu (Demircidere) ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Aydın il merkezinin 56 km güneyinde yer alan Karpuzlu ilçesinin batısı dağlık olup, doğu, güney ve kuzeyinde ise Karpuzlu Ovası yer almaktadır. Alinda Antik Kenti ise doğusunda Kale Tepe, güneyinde Kireçlik Tepe, kuzeyinde Maldanlık Tepe ve batısındaki Çiçekli Tepe arasındaki iki yüksek ve eğimli tepede üzerinde yer almaktadır<sup>2</sup>. Antik Dönem’de Kuzey Karia Bölgesi sınırları içinde yer alan Alinda kentinin<sup>3</sup> batısında Latmos Körfezi ve Beşparmak Dağları, Herakleia, Ioniapolis ve Naxia kentleri, kuzeyinde Tralleis, kuzeybatısında Amyzon, Thasthara ve Parparia, doğusunda Alabanda ile güneyinde Mylasa kenti ve Labraunda Kutsal Alanı yer alır (**Resim 1**). Kent batısındaki yüksek ve engebeli dağlık alanı ile kuzey, güney ve doğusuna hakim stratejik bir alanda, çok güçlü ve dayanıklı bir savunma sistemiyle çevrili olarak, konumlanmıştır (**Resim 2**). İ.Ö. II. Binyıldan itibaren kent döneminin önemli bir ticari ve askeri merkezidir.



Resim 1. Alinda antik kenti, Aydın ili, Karpuzlu (Demircidere) ilçesi yer bulduru haritası.



Resim 2. Alinda antik kenti topografik haritası (Waddington- Le Bas 1847-1877).

İlk defa 2020 yılı Alinda arkeolojik yüzey araştırmalarında, kent merkezinde yer alan tüm arkeolojik kültür varlıklarının yerinde korunması esasına uygun olarak, yeraltı ve yerüstündeki taşınır ve taşınmaz arkeolojik varlıkların, belgelenmesi amacıyla kültürel mirasın korunma durumları ve geleceğe aktarılması çalışmalarına başlanmıştır. Arkeolojik kazı, yüzey ve arkeojeofizik araştırmalarında yapılacak en önemli çalışmalardan biri de hiç şüphesiz yeni elde edilen bulguların yayınlanarak bilim dünyasının ilgisine sunulmasıdır (**Resim 3**).



Resim 3. Alinda antik kenti, Aydın ili, Karpuzlu (Demircidere) ilçesi Jeofizik (GPR) ölçüm bölgeleri.

<sup>2</sup> Alinda kentinin konumu ve çevresindeki yerleşimler için ayrıca bkz. Konecny – Ruggendorfer 2014, 709 vd.

<sup>3</sup> T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü’nün 26.06.2020 tarih ve [161.01.03]-E.445345 sayılı yazısına ekli 26.06.2020 tarih ve 161.01-444094 sayılı izin belgesiyle birlikte ..... başkanlığında “Alinda Antik Kenti ve Çevresi Yüzey Araştırması’na” (Proje Numarası- YA010902-2020) başlanmıştır. Alinda Antik Kenti ve Çevresi Yüzey Araştırması, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından “Aydın ili, Karpuzlu İlçesi, Alinda Antik Kenti Arkeolojik Araştırmaları I” adlı güdümlü proje ile desteklenmektedir. Alinda antik kenti ve çevresi arkeolojik yüzey araştırmaları, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Atatürk Kültür Dil ve Tarih Yüksek Kurumu, Türk Tarih Kurumu tarafından 2020 yılından itibaren desteklenmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Arkeolojik Çalışmalar

C. Fellows, 1841 yılındaki eserinde Alinda antik kentindeki bronz sikkeler, yapılar ve kalıntılardan bahseder<sup>4</sup>. T. E. Mionnet, 1837 kitabında Alinda yazıtlarından bahsetmektedir<sup>5</sup>. P. Le Bas’ın 1844 yılının Mart ayında Alinda’yı ziyaret etmiştir<sup>6</sup>. Küçük Asya üzerine araştırmalar yürüten V. L. Saint-Martin, 1852 yılında basılan kitabında Pockocke’nin 1745 yılında

<sup>4</sup> Fellows 1841, 60 - 64.

<sup>5</sup> Mionnet 1837, 20, 132.

<sup>6</sup> Le Bas 1844, 532-533. Ayrıca bkz. Reinach 1888, 46.

Alinda'ya gerçekleştirdiği seyahati değerlendirir ve Karpuzlu Çayı'nın bulunduğu vadide yer aldığını söylemektedir<sup>7,8</sup>. P. Trémaux Kiepert'in haritasından yararlanarak Alinda antik kentinde ve çevresinde, ilk olarak tiyatroyu daha sonra kraliçe Ada ve diğer ünlü kişilerin kaldığını düşündüğü saray kalıntılarını tanımlayan, araştırmalar yapmıştır<sup>9</sup> (**Resim 4**).



Resim 4. Trémaux'un yayınında yer alan topografik kent planı (Trémaux 1865 – 1868, Alinda).

1888 yılında S. Reinach'ın katkılarıyla yayınlanan eserde, 1842 – 1844 yılları arasında Anadolu'da araştırmalar yürüten M. P. Le Bas'ın gözlemlerinden edinilen bilgiyle, kentin yapı ve kalıntıları tanımlamıştır. Nekropol alanını ve mezarları detaylı olarak ele almış ve tiyatronun çok iyi korunduğunu belirtmiştir<sup>10</sup>. P. J. Baudet, 1879 yılındaki eserinde Alinda ve çevresinde gördüklerini aktarmıştır<sup>11</sup>. 1888 yılında S. Reinach<sup>12</sup>, 1893 ve 1894 yıllarında W. R. Paton ve J. L. Myres, Alinda kentinin merkezinde bulunan agora, nekropol ve mezar tiplerinden bahsetmektedirler<sup>13</sup>. R. d'Aiglon 1881 yılında basılan eserinde Alinda'nın surları hakkında bilgiler yayınlamıştır<sup>14</sup>. E. Fabricius, 1889 baskılı eserinde agoranın detaylı bir planını eklemiştir<sup>15</sup>. 1942 yılında F. W. Walbank, Alinda'da bulunmuştur<sup>16</sup>. G. Bean, Karpuzlu'daki (Demircideresi) Alinda antik kentinin tepeler üzerinde yer aldığını, teraslar üzerinde yapılar olduğunu, kalıntılarının çok iyi korunduğunu ve o döneme kadar kazı yapılmadığını aktarmıştır<sup>17</sup>. Kent R. Chandler tarafından 1765 yılında ziyaret edilmiştir. M. Anabolu, 1963 yılında yaptığı teknik gezi sırasında gördüğü kalıntılar hakkında, kentte iki antik yolla ulaşıldığını belirtir ve bu yolun çevresinde çok sayıda

mezarın varlığından bahisle, detaylı bir değerlendirme yapmıştır<sup>18</sup>. S. Doruk 1987 yılında Alinda antik kentinin anıtsal boyutlardaki yapının, plan ve kesitleri ile mimari özellikleri, detaylı olarak ele alınmıştır<sup>19</sup>. V. Özkaya başkanlığında 1997 – 2001 yılları arasında, günümüze kadar herhangi bir sondaj ya da kazı çalışması yapılmayan kentte, yüzey araştırmaları yürütülmüştür<sup>20</sup>. P. Ruggendorfer başkanlığında 2007 - 2011 yılları arasında Alinda antik kenti arkeolojik yüzey araştırmalarında Alinda kentinin topografyası, genel planı, kent içi ve kent dışı yollar ile su sistemlerini, yukarı kent, aşağı kent ve tapınak alanını, agoranın kuzeyindeki alan ve doğusundaki kilise ile çevresini, su kemerleri ve sistemlerini, aşağı kentte yer alan tapınak ve çevresini, agora ile kuzeyindeki stadion ve sarnıç alanını, aşağı kentin kuzeyindeki yerleşim bölgesini, su sistemlerini, kentin kuzey batısında yeni saptanan nekropol alanını, Orta Mahalle'de yer alan devşirme eserleri ve agora ve kuzeyindeki alanı, Orta Mahalle'deki devşirme eserleri, mezarları ve yolları araştırmıştır<sup>21</sup>.

..... başkanlığında 2020 yüzey araştırmaları yapılmış ve yukarıda anlatılan bilimsel bulguların yanı sıra görkemli yapılarıyla zamana direnen Alinda antik kentinde yeni bulgulara ulaşılmış ve akropoliste'te arkeojeofizik çalışmalar yapılarak yeraltında gömülü, şimdiye kadar bilinmeyen, mimari yapı kalıntıları belirlenmiştir<sup>22</sup>.

## 2.2. Arkeojeofizik Çalışmalar

Aydın İli, Karpuzlu İlçesi, Asar-ı Antika Mevki-i, 2064 Parselde yer alan Alinda Antik Kentinde akropolis üzerinde belirlenen üç bölgede, Akropol, Sarnıç alanı ve Gömülü Yapı alanında ve Çökmüş Gömülü yapı alanında, Jeoradar (Yerradarı-GPR) ölçümleri yapılmıştır (**Resim 3**).

Araştırma Sahasında ölçü konumlandırmasına bağlı olarak Akropol alanında 64 profilde, Sarnıç alanı ve Gömülü Yapı civarında 29 profilde ve Çökmüş Gömülü Yapı alanında 41 profilde, nüfuz derinliği saha kotundan 6 m'ye kadar Jeoradar ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen GPR verilerinden, veri işlem aşamalarından sonra, iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) yer altı görüntüleri elde edilmiştir. Çalışmada; Mala marka GPR ölçüm cihazı ve ekipmanları (ProEx ünite, 250 Mhz anten, notebook, DGPS anten) kullanılmıştır. GPR verileri (radargramlar), üç boyutlu GPR yazılımı (Slice 3D) kullanılarak yorumlanmıştır.

Alinda Antik Kent sahasında, Akropol alanında, 1 No'lu Bölgede, gerçekleştirilen GPR Ölçüm çalışmaları ve değerlendirmeleri neticesinde elde edilen 100 cm aralıklı anomali dağılımı kat haritaları (**Resim 5**) görülmektedir. Anomali dağılımı kat haritalarında yüksek genlikli anomaliler gözlenmiştir. Belirlenen bu yüksek genlikli anomaliler, alanın kenarları boyunca simetrik yoğun kümelenmiş görüntülenmiştir.

<sup>7</sup> Saint-Martin 1852, 72.

<sup>8</sup> Saint-Martin 1852, 331, 518, 520.

<sup>9</sup> Trémaux 1865 – 1868, Alinda.

<sup>10</sup> Reinach 1888, 45 vd. Pl. 62-63.

<sup>11</sup> Baudet 1879, 225 vd.

<sup>12</sup> Reinach 1888, Alinda, 1089 vd.

<sup>13</sup> Paton – Myres 1896, 238 vd.

<sup>14</sup> D'Aiglon 1881, 59-60.

<sup>15</sup> Fabricius 1889, 188-189.

<sup>16</sup> Walbank 1942, 8-13.

<sup>17</sup> Bean 1971, 190 vd.

e-ISSN: 2148-2683

<sup>18</sup> Anabolu 1967, 87 vd.

<sup>19</sup> Doruk 1987, 1117 – 1137

<sup>20</sup> Özkaya – San – Barın 1999, 299 – 309, Har. 1, Res. 1 – 26. Özkaya – San 2000, 263 – 271, Çiz. 1 – 8, Res. 1 – 7; Özkaya – San 2001, 181 – 189, Çiz. 1 – 14; ayrıca bkz. Özkaya 2001, 463 – 476, Res. 1 – 10.

Özkaya – San 2002, 237 – 247, Fig. 1 – 15. Özkaya – San 2003a, 235 – 242, Res. 1 – 14; ayrıca bkz. Özkaya – San 2003b, 103 – 125, Fig. 1 – 20.

<sup>21</sup> Ruggendorfer 2009, 37 - 42, Abb. 1 – 5. Ruggendorfer 2010, 83 – 92, Abb. 1 – 6. Ruggendorfer 2011, 207 – 220, Abb. 1 – 9. Ruggendorfer 2012, 67 – 75, Abb. 1 – 11. Ruggendorfer 2013, 227 – 230, Res. 1 - 11.

<sup>22</sup> Avcı 2020, 1-86.

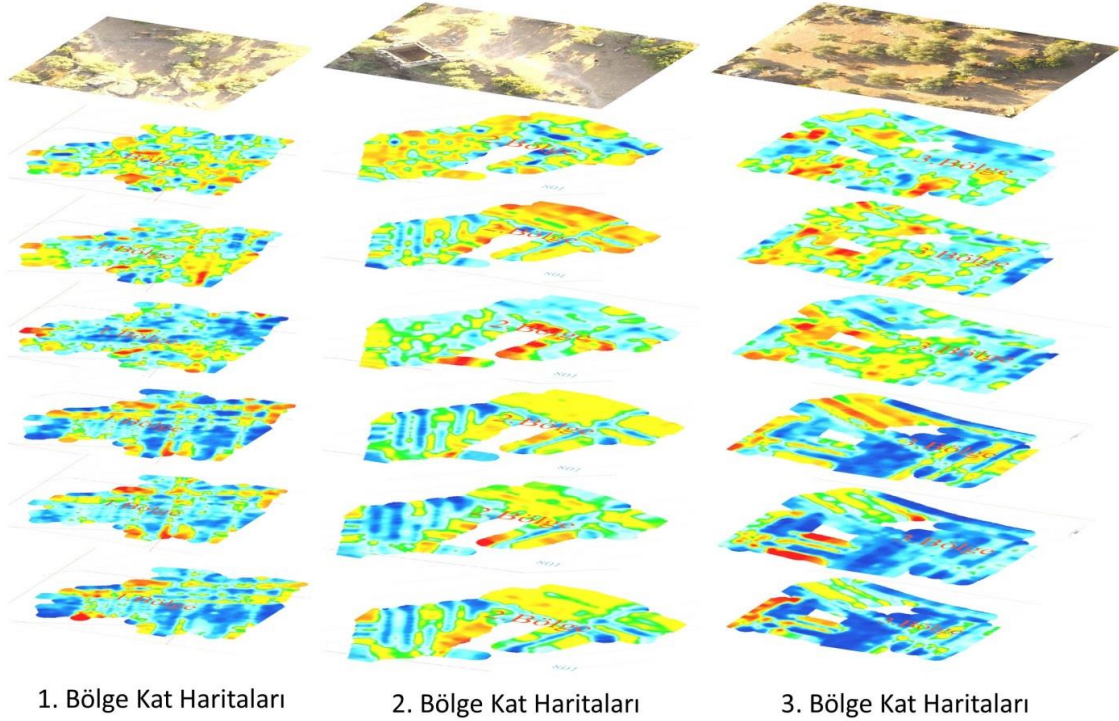


Bu anomaliler mimari yapı temellerini oluşturabilecek geometrik formlarda görüntülenmiştir. Çalışma alanında ölçümlenen, derinliğe bağlı olarak değişen, sadece yüksek genlikli anomalilerin alan içerisinde dağılımını gösteren, farklı açılardan görünümü üç boyutlu (3D Hacimsel-Volümetrik) Küp Modeli **Resim 6**'da görüntülenmiştir.

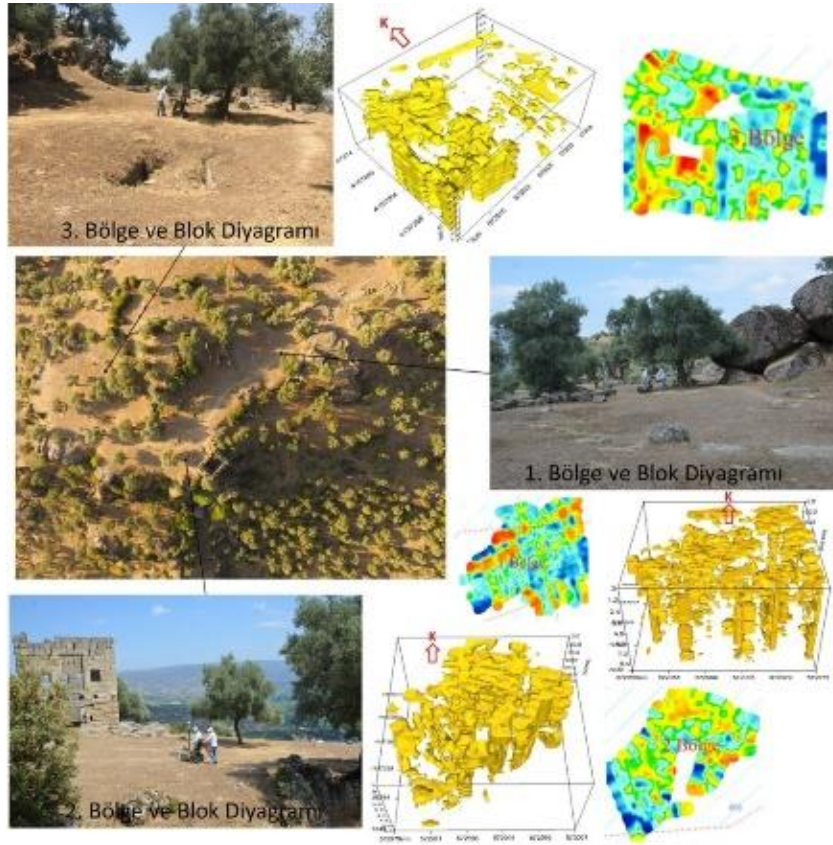
Alinda Antik Kent sahasında Sarnıç alanı, 2 No'lu Bölgede, gerçekleştirilen GPR Ölçüm çalışmaları ve değerlendirmeleri neticesinde elde edilen 100 cm. aralıklı anomali dağılımı kat haritaları (**Resim 5**) görüntülenmektedir. Anomali dağılımı kat haritalarında yüksek genlikli anomaliler gözlenmiştir. Belirlenen bu yüksek genlikli anomaliler, alanın orta bölümü ve kuzey bölümünde yoğun kümelenmiş, diğer bölümlerde yer yer yüksek genlikli anomaliler görüntülenmiştir. Sarnıç oluşturan yapının olası mimari geometrisi görüntülenmiştir. Çalışma alanında ölçümlenen, derinliğe bağlı olarak değişen, sadece yüksek genlikli anomalilerin alan içerisinde dağılımını gösteren, farklı açılardan görünümü üç boyutlu (3D Hacimsel-Volümetrik) Küp Modeli **Resim 6**'da görüntülenmiştir.

Alinda Antik Kent sahasında Gömülü yapı alanı 3 No'lu Bölgede gerçekleştirilen GPR Ölçüm çalışmaları ve değerlendirmeleri neticesinde elde edilen 100 cm. aralıklı anomali dağılımı kat haritaları (**Resim 5**) görüntülenmektedir. Anomali dağılımı kat haritalarında yüksek genlikli anomaliler gözlenmiştir. Belirlenen bu yüksek genlikli anomaliler, alanın tamamında dağınık, yer yer yoğun kümelenmiş, yüksek genlikli anomaliler görüntülenmiştir. Çökmüş Gömülü yapı alanına ait mimari yapı geometrisi görüntülenmiştir. Çalışma alanında ölçümlenen, derinliğe bağlı olarak değişen, sadece yüksek genlikli anomalilerin alan içerisinde dağılımını gösteren, üç boyutlu (3D Hacimsel-Volümetrik) Küp Modeli **Resim 6**'da görüntülenmiştir.

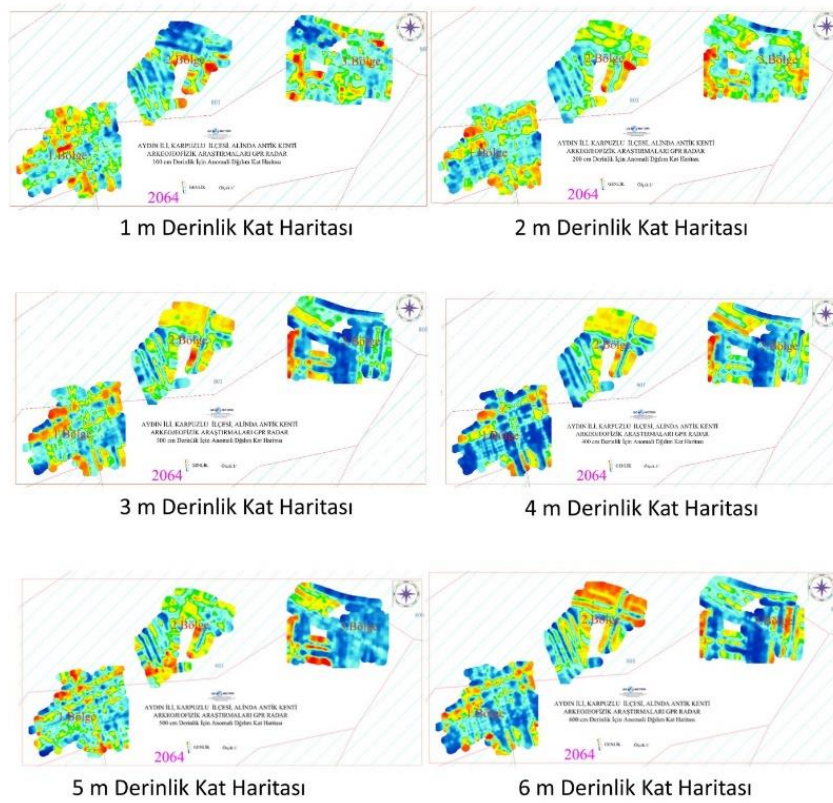
Araştırma alanında, üç bölgeye ait, belirlenen bu yüksek genlikli anomalilerin 100 cm. aralıklı anomali dağılım kat haritaları **Resim 7**'de yer almaktadır. Arkeolojik kazılarla geometrik form veren bu yüksek genlikli anomalilerin lokasyonları kontrol edilmelidir.



Resim 5. Alinda antik kenti, Aydın ili, Karpuzlu (Demircidere) ilçesi, Akropol, Sarnıç alanı ve Gömülü Yapı alanında ve Çökmüş Gömülü yapı alanında, Jeofizik (GPR) 100 cm aralıklı seviye kat haritaları.



Resim 6. Alinda antik kenti, Aydın ili, Karpuzlu (Demircidere) ilçesi, Akropol, Sarnıç alanı ve Gömülü Yapı alanında ve Çökmüş Gömülü yapı alanlarında, Jeofizik (GPR) 300 cm seviye kat haritaları ve bölgelerin üç boyutlu blok diyagramları.



Resim 7. Alinda antik kenti, Aydın ili, Karpuzlu (Demircidere) ilçesi, Akropol, Sarnıç alanı ve Gömülü Yapı alanında ve Çökmüş Gömülü yapı alanlarının, Jeofizik (GPR) 100 cm aralıklı seviye kat haritalarının birlikte görünümü (Kırmızı renkli anomali dağılımları yüksek genlikleri ve mavi renkli anomali dağılımları ise düşük genlikleri göstermektedir).



### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

2020 yüzey araştırmaları yapılmış ve yukarıda anlatılan bilimsel bulguların yanı sıra görkemli yapılarıyla zamana direnen Alinda antik kentinde yeni bulgulara ulaşılmıştır.

#### 3.1. Tarihi Çevrenin Korunması

2020 yüzey araştırmalarında görkemli yapılarıyla zamana direnen Alinda antik kentinde yeni bulgulara ulaşılmış ve akropoliste'te arkeojeofizik çalışmalar yapılarak yeraltında gömülü, şimdiye kadar bilinmeyen, mimari yapı kalıntıları belirlenmiştir.

İlk defa 2020 yılı Alinda arkeolojik yüzey araştırmalarında, kent merkezinde yer alan tüm arkeolojik kültür varlıklarının yerinde korunması esasına uygun olarak, yeraltı ve yerüstündeki taşınır ve taşınmaz arkeolojik varlıkların, belgelenmesi amacıyla kültürel mirasın korunma durumları ve geleceğe aktarılması çalışmalarına başlanmıştır. Arkeolojik kazı, yüzey ve arkeojeofizik araştırmalara ilave olarak, yapılacak en önemli çalışmalardan biri de, hiç şüphesiz yapıların restorasyon projeleri hazırlanarak mimari yapı kalıntıları restore edilmelidir.

### 4. Sonuç

Aydın İli, Karpuzlu İlçesi, Asar-ı Antika Mevki-i, 2064 Parselde yer alan Alinda Antik Kenti iki yüksek ve eğimli tepe üzerinde çok güçlü ve dayanıklı bir savunma sistemiyle çevrili olarak konumlanmıştır. Kent döneminin önemli bir ticari ve askeri merkezi olmuştur.

Kentde, akropolis üzerinde, Akropol, Sarnıç ve Gömülü Yapı alanında ve Çökmüş Gömülü yapı alanında, Jeoradar (Yerradarı-GPR) ölçümleri yapılmıştır. Araştırma alanında belirlenen yüksek genlikli anomalilerin 100 cm. aralıklı anomali dağılım kat haritaları oluşturuldu. Araştırma alanında mimari yapı temeli görünümü geometrik form veren yüksek genlikli anomaliler görüntülenmiştir. Arkeolojik kazılarla geometrik form veren bu yüksek genlikli anomalilerin lokasyonları kontrol edilmelidir.

### 5. Teşekkür

6 Temmuz – 14 Ağustos 2020 tarihleri arasında sürdürülen 2020 yılı yüzey araştırmalarına verdikleri destekler ve resmi izinler nedeniyle T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü ile Kazılar Dairesi Başkanlığı'na teşekkür ederiz. Alinda antik kentinin araştırılması konusunda verdiği destekler nedeniyle Kazılar Dairesi Başkanı Sayın Umut Görgülü'ye ayrıca teşekkür ederiz. 2020 yılı yüzey araştırmasına bakanlık yetkili uzmanı olarak İzmir Arkeoloji Müzesi Müdürlüğü uzmanı Barış Tekin ve Aydın Arkeoloji Müzesi Müdürlüğü uzmanı Songül Erbay görevlendirilmiştir. Kendilerine özverili çalışmaları nedeniyle teşekkür ederiz. Alinda Antik Kenti ve Çevresi Yüzey Araştırmalarına katkıları ve destekleri nedeniyle Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Osman Selçuk Aldemir'e, Rektör Yardımcısı Prof. Dr. Ali Akyol'a, Fen Edebiyat Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Kubilay Metin'e, Arkeoloji Bölüm Başkanı Prof. Dr. Suat Ateşlier'e, Aydın Büyükşehir Belediyesi Başkanı Özlem Çerçioğlu ve Büyükşehir Belediyesi çalışanlarına, Karpuzlu Belediye Başkanı Hilmi Dönmez ve Karpuzlu Belediyesi çalışanlarına teşekkür ederiz. Alinda Antik Kenti ve Çevresi Yüzey Araştırması, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, e-ISSN: 2148-2683

Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından "Aydın ili, Karpuzlu İlçesi, Alinda Antik Kenti Arkeolojik Araştırmaları 1" adlı güdümlü proje ile desteklenmektedir. Destekleri nedeniyle Rektör Yardımcısı Prof. Dr. Ali Akyol'a, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörü Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Bilgin Bilgiç'e ve Şube Müdürü Halit Bilge'ye teşekkür ederiz.

**DESTEKLEYEN KURUM :** T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nün 26.06.2020 tarih ve [161.01.03]-E.445345 sayılı yazısına ekli 26.06.2020 tarih ve 161.01-444094 sayılı izin belgesiyle birlikte Doç. Dr. Murat Çekilmez başkanlığında "Alinda Antik Kenti ve Çevresi Yüzey Araştırması'na" (Proje Numarası- YA010902-2020) başlanmıştır. Alinda Antik Kenti ve Çevresi Yüzey Araştırması, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından "Aydın ili, Karpuzlu İlçesi, Alinda Antik Kenti Arkeolojik Araştırmaları 1" adlı güdümlü proje ile desteklenmektedir. Alinda antik kenti ve çevresi arkeolojik yüzey araştırmaları, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Atatürk Kültür Dil ve Tarih Yüksek Kurumu, Türk Tarih Kurumu tarafından 2020 yılından itibaren desteklenmektedir.

### Kaynakça

- Anadolu, M.U., (1967). "Alinda Karpuzlu", TAD XIV, Ankara, 1967, 87-102
- Augé, L., (1878). Voyage aux sept merveilles du monde, Paris, 1878.
- Avcı, K., (2020). Aydın-Karpuzlu Alinda Antik Kenti 2020 Yılı Yüzey Araştırması, Jeoradar (GPR) ile Arkeojeofizik Geometrik Mühendislik, yayınlanmamış rapor, 86s, İstanbul
- Baudet, P.J., (1879). Mémoires de la Société de Géographie d'Anvers, Tome I, Anvers 1879, s.225
- Bean, (1971). Turkey Beyond the Maeander : An Archeological Guide, London 1971
- Rochas d'Aiglun A., (1881). Principes de la fortification antique: précis des connaissances techniques nécessaires aux archéologues pour explorer les ruines des anciennes forteresses, Ducher&Cie, 1881, 59-60
- Doruk, S., (1987). "Antik Alinda Kentindeki Pazar Yapısı", Belleten, 201, 1117 – 1137.
- Fellows Ch., (1841). An Account of Discoveries in Lycia, Being a Journal, London 1841.
- Hild, F., (2014). "Historisch – Geographischer Überblick", Meilensteine, Straßen und das Verkehrsnetz der Provinz Karia, Austrian Academy of Sciences Press 2014.
- Konecny, A. L.- Ruggendorfer, P., (2014). "Alinda in Karia: The Fortifications", Hesperia 83, No. 4, 709 – 746.
- Le Bas, P., (1844). La Revue Independante, Mai-Juin 1844, XIV, 532-533.
- Mionnet, T.E., (1837). Description de médailles antiques, grecques et romaines, Paris 1837, s.20 ve 132
- McNicol, A. W., 1997 (). Hellenistic Fortification from the Aegean to the Euphrates, London 1997.
- Özkaya, V., San, O., Barın, G., (1999). "Alinda (Karpuzlu)", AST 16, II, Ankara, 299 – 323.
- Özkaya, V., San, O., (). "Alinda Nekropolü – I", AST 17, II, Ankara, 263 – 278. 2000
- Özkaya, V., (2001). "Alinda Antik Dokusu ve Anıtsal Gömütleriyle İç Karia Bölgesinde Bir Kent", Prof. Dr. Zafer Bayburtluoğlu Armağanı, Sanat Yazıları, Ed. Mustafa Denктаş, Yıldırım Özbek, Kayseri, 463 – 478.
- Özkaya, V., San, O., (2001). "Alinda Nekropolü – II", AST 18, I, Ankara, 181 - 196.

- Özkaya, V., San, O., (2002). “Alinda and Amyzon, Two Ancient Cities in Caria”, AST 19, I, Ankara, 237 – 254.
- Özkaya, V., San, O., (2003a). “Alinda 2001 Araştırmaları”, AST 20, I, Ankara, 235 – 248.
- Özkaya, V., San, O., (2003b). “Alinda. An Ancient City with its Remains and Monumental Tombs in Caria”, Revue des Études Anciennes, Tome 105, 103 – 125.
- Paton, W. R., Myres, J. L., (1896). “Karian Sites and Inscriptions”, JHS 16, 188 – 236
- Reinach, S., (1888). Voyage Archéologique en Grèce et en Asie Mineure, Paris 1888, Firmin-Didot et Cie 1888, s.XVIII, 45-46, 149
- Ruggendorfer, P., (2009). Survey-Projekt Alinda – die Kampagne 2007, 26. AST 2008, 3 (Ankara 2009) 37-44.
- Ruggendorfer, P., (2010). Die Ergebnisse der Feldforschungen in Alinda 2008, 27. AST 2009, 3 (Ankara 2010) 83-97.
- Ruggendorfer, P., (2011). Untersuchungen zur städtebaulichen Entwicklung und zur Geschichte von Alinda 2009, 28. AST 2010, 3 (Ankara 2011) 207-221.
- Ruggendorfer, P., (2012). Ergebnisse der städtebaulichen Untersuchungen in Alinda 2010, 29. AST 2011, 2 (Ankara 2012), 67-83.
- Ruggendorfer, P., (2013). Alinda 2011 Şehir Planlaması Gelişim Araştırmasının Sonuçları, 30. AST 2012, 1 (Çorum 2013) 227-236.
- Saint-Martin, V. L., (1852). Description Historique et Géographique de l’Asie Mineure, comprenant les temps anciens, le moyen âge et les temps modernes, Tome II, Paris 1852, s.72, 331, 518, 520
- Trémaux, P., (1865–1868). Exploration archéologique en Asie Mineure, comprenant Les restes non connus de plus de quarante cités antiques, (Paris 863), s. v. Alinda.
- Walbank, F.W., (1942). “Olympichus of Alinda and the Carian Expedition of Antigonos Doson”, JHS Vol. 52, 1942, 8-13.



# A Benchmark for Feature-injection Architectures in Image Captioning

Rumeysa Keskin<sup>1</sup>, Özkan Çaylı<sup>1</sup>, Özge Taylan Moral<sup>1\*</sup>, Volkan Kılıç<sup>1</sup>, Aytuğ Onan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İzmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8452-8221, 0000-0002-3389-3867, 0000-0003-0482-267X, 0000-0002-3164-1981), [160403043@ogr.ikcu.edu.tr](mailto:160403043@ogr.ikcu.edu.tr), [y200207004@ogr.ikcu.edu.tr](mailto:y200207004@ogr.ikcu.edu.tr), [ozgetaylan.moral@ikcu.edu.tr](mailto:ozgetaylan.moral@ikcu.edu.tr), [volkan.kilic@ikcu.edu.tr](mailto:volkan.kilic@ikcu.edu.tr)

<sup>2</sup> İzmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9434-5880), [aytug.onan@ikcu.edu.tr](mailto:aytug.onan@ikcu.edu.tr)

(First received 22 October 2021 and in final form 6 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013329)

**ATIF/REFERENCE:** Keskin, R., Çaylı, Ö., Moral, Ö.T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). A Benchmark for Feature-injection Architectures in Image Captioning. *European Journal of Science and Technology*, (31), 461-468.

## Abstract

Describing an image with a grammatically and semantically correct sentence, known as image captioning, has been improved significantly with recent advances in computer vision (CV) and natural language processing (NLP) communities. The integration of these communities leads to the development of feature-injection architectures, which define how extracted features are used in captioning. In this paper, a benchmark of feature-injection architectures that utilize CV and NLP techniques is reported for encoder-decoder based captioning. Benchmark evaluations include Inception-v3 convolutional neural network to extract image features in the encoder while the feature-injection architectures such as init-inject, pre-inject, par-inject and merge are applied with a multi-layer gated recurrent unit (GRU) to generate captions in the decoder. Architectures have been evaluated extensively on the MSCOCO dataset across eight performance metrics. It has been concluded that the init-inject architecture with 3-layer GRU outperforms the other architectures in terms of captioning accuracy.

**Keywords:** Convolutional Neural Network, Feature-injection Architectures, Gated Recurrent Unit.

## Görüntü Altyazılamada Öznitelik Enjeksiyon Mimarileri için Bir Kıyaslama

### Öz

Görüntü altyazılama olarak bilinen, bir görüntüyü dilbilgisel ve anlamsal olarak doğru bir cümle olarak tanımlama, bilgisayarlı görme ve doğal dil işleme alanlarındaki son gelişmelerle birlikte önemli ölçüde ilerlemiştir. Bu iki alanın birleştirilmesi, çıkarılan özniteliklerin altyazı oluşturmada nasıl kullanılacağını tanımlayan öznitelik enjeksiyon mimarisinin geliştirilmesine öncülük etmiştir. Bu çalışmada, bilgisayarlı görme ve doğal dil işleme tekniklerini kodlayıcı-kod çözücü tabanlı görüntü altyazılamada kullanan öznitelik enjeksiyon mimarilerinin bir karşılaştırılması raporlanmaktadır. Kıyaslama değerlendirmelerinde, Inception-v3 evrişimsel sinir ağı, kodlayıcıda görüntü özniteliklerini çıkarmak için kullanılırken; init-inject, pre-inject, par-inject ve merge gibi öznitelik enjeksiyon mimarileri altyazı üretmek için çok katmanlı kapılı tekrarlayan birim ile kod çözücüde uygulanmaktadır. Mimariler sekiz performans metriği ile MSCOCO veri kümesi üzerinde kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. 3 katmanlı GRU ile init-inject mimarisinin altyazı doğruluğu açısından diğer mimarilerden daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Evrişimsel Sinir Ağları, Öznitelik Enjeksiyon Mimarileri, Kapılı Tekrarlayan Birim.

<sup>1</sup> Corresponding Author: [ozgetaylan.moral@ikcu.edu.tr](mailto:ozgetaylan.moral@ikcu.edu.tr)  
<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

## 1. Introduction

Captioning is an automated image description with a meaningful and grammatically correct sentence that has applications in many areas, such as description generation in social media (Chiarella, Yarbrough, & Jackson, 2020), image indexing (Chang, 1995), and assistance for the visually impaired (Baran, Moral, & Kılıç, 2021; Çaylı, Makav, Kılıç, & Onan, 2020; Keskin, Moral, Kılıç, & Onan, 2021; Makav & Kılıç, 2019b). This task is accomplished using a combination of CV and NLP techniques.

Earlier studies for image captioning have dealt with different approaches: retrieval-based, template-based and encoder-decoder based methods. The retrieval-based approach, which is a traditional image captioning approach, retrieves reference caption of images from a dataset and analyzes its semantic information for generating a caption of a new image based on similarities (X. Liu, Xu, & Wang, 2019). Therefore, in this approach, caption generation is limited to the properties of the dataset and cannot generate novel descriptions which are not in training (Ordonez, Kulkarni, & Berg, 2011). Researches in image captioning have advanced remarkably with the template-based approach, which utilizes object detection and language models (Kulkarni et al., 2013). This approach detects objects, attributes, and spatial relationships from images to generate a syntactically correct sentence from a template that is a set of most likely words. This method improves the generated captions since it precisely complies with the grammatical rules. However, the generated sentence is not comparable with human style as it is only similar to the template, and it cannot add new words or reorder them.

Effective image captioning methods have been introduced with the development of encoder-decoder based approaches. Unlike retrieval-based and template-based, this approach combines a convolutional neural network (CNN) and a recurrent neural network (RNN) to describe images (Makav & Kılıç, 2019a). A CNN based encoder is employed to extract image features, then the features have been fed to the decoder. There are many types of research devoted to performance improvement in CNNs, resulting in the emergence of advanced CNN architectures such as Inception-v3 (Szegedy, Vanhoucke, Ioffe, Shlens, & Wojna, 2016), Xception (Chollet, 2017), and ResNet (Targ, Almeida, & Lyman, 2016) that are widely used in encoder design. Image features extracted by CNN-based encoders are processed in RNN-based decoders to generate natural language captions using this information. However, the simple RNN has issues like the vanishing and exploding gradient problems that prevent modeling of long-term dependencies (Ouyang, Zeng, Li, & Luo, 2020). To overcome these issues, advanced RNNs are introduced, including the long-short term memory (LSTM) (Hochreiter & Schmidhuber, 1997) and gated recurrent unit (GRU) (Chung, Gulcehre, Cho, & Bengio, 2014). LSTM network solves the vanishing gradient and losing the content of the information problem with the addition of memory cells to capture long-term dependencies.

GRU controls the information flow without additional memory cells and uses fewer gates that correspond to only one-fourth parameters of the LSTM (Gao & Glowacka, 2016). In this regard, GRU has been proven to be an efficient choice over traditional RNNs or LSTM due to the high accuracy with the lower computation (Gers & Schmidhuber, 2001). RNN-based decoders require a feature-injection that utilizes the image and linguistic features to generate a more meaningful caption (Baran

et al., 2021; Çaylı et al., 2020), (Devlin et al., 2015; Tanti, Gatt, & Camilleri, 2018; Vinyals, Toshev, Bengio, & Erhan, 2016). The feature-injection architectures could be categorized into init-inject, pre-inject, par-inject, and merge (Tanti et al., 2018). The image feature is fed to the initial hidden state of the RNN in the init-inject (Devlin et al., 2015), (S. Liu, Zhu, Ye, Guadarrama, & Murphy, 2016), while the first input of the RNN is fed by the image feature as in pre-inject architecture (Nina & Rodriguez, 2015; Vinyals, Toshev, Bengio, & Erhan, 2015). The image feature is used with the linguistic feature in parallel as an input to the RNN in par-inject architecture (Donahue et al., 2015; Yao, Pan, Li, Qiu, & Mei, 2017). The image feature is exposed to the system after the GRU processes in merge architecture (Baran et al., 2021; Mao et al., 2015).

In this study, a benchmark of feature-injection architectures, i.e., init-inject, par-inject, pre-inject and merge, is reported for image captioning based on the encoder-decoder approach. The Inception-v3 architecture is used for all experiments to extract image features due to its high-level performance in ILSVRC 2015 (He, Zhang, Ren, & Sun, 2016). GRU is employed in the decoder to generate image captions because of its computational efficiency and prediction accuracy. As it is reported in (Tanti et al., 2018), a fully connected (FC) layer optimized the captioning accuracy in par-inject architecture. Based on this conclusion, benchmark evaluations have been extended for all architectures, including a connection of an FC layer to the decoder. In addition, multi-layer GRU is employed to examine the effect of layer size in caption generation. The motivation behind the increasing layer size is to enhance the memory ability of the model to compute more complex representations in learning sequential data to provide a captioning model that generates more accurate predictions (Keskin et al., 2021; Kılıç, 2021; Tao, Wang, Sánchez, Yang, & Bai, 2019). The experiments were evaluated on the MSCOCO dataset (T.-Y. Lin et al., 2014) with commonly used performance metrics BLEU-n ( $n = 1, 2, 3, 4$ ) (Papineni, Roukos, Ward, & Zhu, 2002), ROUGE-L (C.-Y. Lin, 2004), SPICE (Anderson, Fernando, Johnson, & Gould, 2016), METEOR (Banerjee & Lavie, 2005) and CIDEr (Vedantam, Lawrence Zitnick, & Parikh, 2015).

The rest of the paper is organized as follows: Section 2 covers the encoder-decoder based approach and feature-injection architectures with theoretical foundations. Section 3 introduces the dataset, performance metrics and results with implementation details. Conclusions are drawn in Section 4.

## 2. Image Captioning Methods

The feature-injection architectures based on the encoder-decoder approach to utilize the image and linguistic features are described in this section.

### 2.1. Encoder-Decoder Based Approach

In encoder-decoder based approach, it is intended to maximize the probability  $p(S|I)$  for generating the best descriptions (X. Liu et al., 2019) as follows

$$\theta^* = \arg \max_{\theta} \sum_{(I,S)} \log p(S|I; \theta) \quad (1)$$

where  $\theta$  represents learning parameter,  $I$  is the input image and  $S = \{S_0, S_1, \dots, S_{t-1}\}$  is the corresponding caption. Since the varying length of the caption is generated for each image, the probability calculation is expressed by the chain rule (X. Liu et al., 2019),



$$\log p(S|I) = \sum_{t=0}^N \log p(S_t|I, S_0, \dots, S_{t-1}) \quad (2)$$

where  $N$  is the caption length. The conditional probability  $p(S_t|I, S_0, \dots, S_{t-1})$  in Eq. 2 is modeled with RNN taking the input at the current time step  $t$  and the output of the previous time step  $t - 1$ . This recursive process predicts every word in the caption, which produces a probability distribution over all possible words according to the current word and context from previous time steps.

**Encoder - CNN:** The encoder is the first step of the encoder-decoder based approach that extracts the image features using a CNN architecture. The Inception-v3, which consists of 48 convolutional, pooling, and FC layers with an input image size of  $3 \times 299 \times 299$ , was utilized to extract image features in this study. The process of the input image was propagated until the global average pooling layer of the Inception-v3, resulting in a feature vector with the length of 2048 to feed into the decoder for the comparison of feature-injection architectures.

**Decoder - GRU:** The next step is the decoder, where the feature-injection architectures are applied to generate a caption word-by-word using both image and linguistic features. The multi-layer GRU based decoder mainly consists of the FC layer, embedding layer and GRUs, which is illustrated in Figure 1. The FC layer utilizes an activation function on input with weight to calculate the output. This layer normalizes the output of the GRU with a logarithmic softmax function that improves loss calculation. Here, this layer is first utilized to produce an image feature vector with the reduced size before the GRU layer to test the feature-injection architectures. Meanwhile, the embedding layer processes tokens representing numerical components and generates an embedding vector (or word embedding) containing linguistic features to feed the GRU, which is a type of RNN with a gating mechanism to control the information flow through cells. GRU consists of a hidden state vector, update and reset gates. The flow of information on GRU is as follows (Chung et al., 2014):

$$r_t = \sigma(W_r x_t + W_r h_{t-1}) \quad (3)$$

$$z_t = \sigma(W_z x_t + W_z h_{t-1}) \quad (4)$$

$$u_t = \tanh(W_h x_t + W_h (r_t \odot h_{t-1})) \quad (5)$$

$$h_t = (1 - z_t)h_{t-1} + z_t u_t \quad (6)$$

where  $x_t$  and  $h_t$  are the input and the hidden state vectors,  $r_t$ ,  $z_t$  and  $u_t$  corresponds to the reset gate, update gate and candidate hidden vector, respectively.  $W$  denotes weight matrices,  $\sigma$  and  $\tanh$  are sigmoid and hyperbolic tangent.  $\odot$  denotes the element-wise multiplication operator. The multi-layer GRU is a combination of  $K$ -GRU for  $k = 1, \dots, K$ . The first GRU layer takes the embedding vector, which is generated using start-token from the embedding layer. The output vector of the first layer feeds to the next GRU layer, and this process is continued  $K$ -times reaching the last output is generated, which is the input for the FC layer. The FC layer generates the first token, which is computed by the embedding layer in the next time step. The procedure is repeated  $T$ -times to reach the end token. All generated tokens are converted to the image caption. Inject-based and merge architectures are applied to the multi-layer GRU based decoder to see the effect of layer size on generating caption.

## 2.2. Feature-Injection Architectures

Images can be incorporated into the decoder with feature-injection architectures in two different ways (i.e., inject-based and merge) using a fixed-length image feature vector and linguistic feature vector (embedding vector) from the encoder and embedding layer, respectively. The inject-based architecture is designed to utilize both image feature and linguistic feature vector to the decoder, such as init-inject, pre-inject and par-inject.

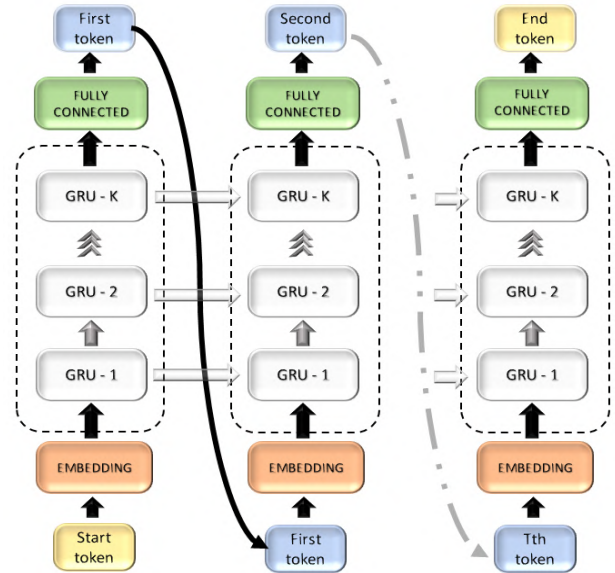


Figure 1. Multi-layer gated recurrent unit

**Init-inject architecture:** The hidden state vector of GRU is initialized with the same-sized image feature vector (Tanti et al., 2018), and the embedding vector is fed to the GRU as an input vector. The probability calculation is represented in the init-inject architecture as

$$p_{t+1} = (GRU(x_t), CNN(I)), \quad t \in \{0, 1, \dots, N-1\} \quad (7)$$

where  $GRU$  is the abbreviation of all processes in the Eqs. 3 - 6 and  $CNN$  is the abbreviation of the process of the encoder.

**Pre-inject architecture:** The image feature vector is utilized as the first input vector of GRU at  $t = -1$ , whereas the embedding vectors feed the GRU for the next step (Tanti et al., 2018). The image feature vector can be considered as the first word of the sequence. The process in the pre-inject architecture is represented as (Vinyals et al., 2015)

$$x_{t-1} = CNN(I) \quad (8)$$

$$x_t = W_e S_t \quad t \in \{0, 1, \dots, N-1\} \quad (9)$$

$$p_{t+1} = GRU(x_t), \quad t \in \{0, 1, \dots, N-1\} \quad (10)$$

where  $W_e$  denotes the weight of the embedding layer.

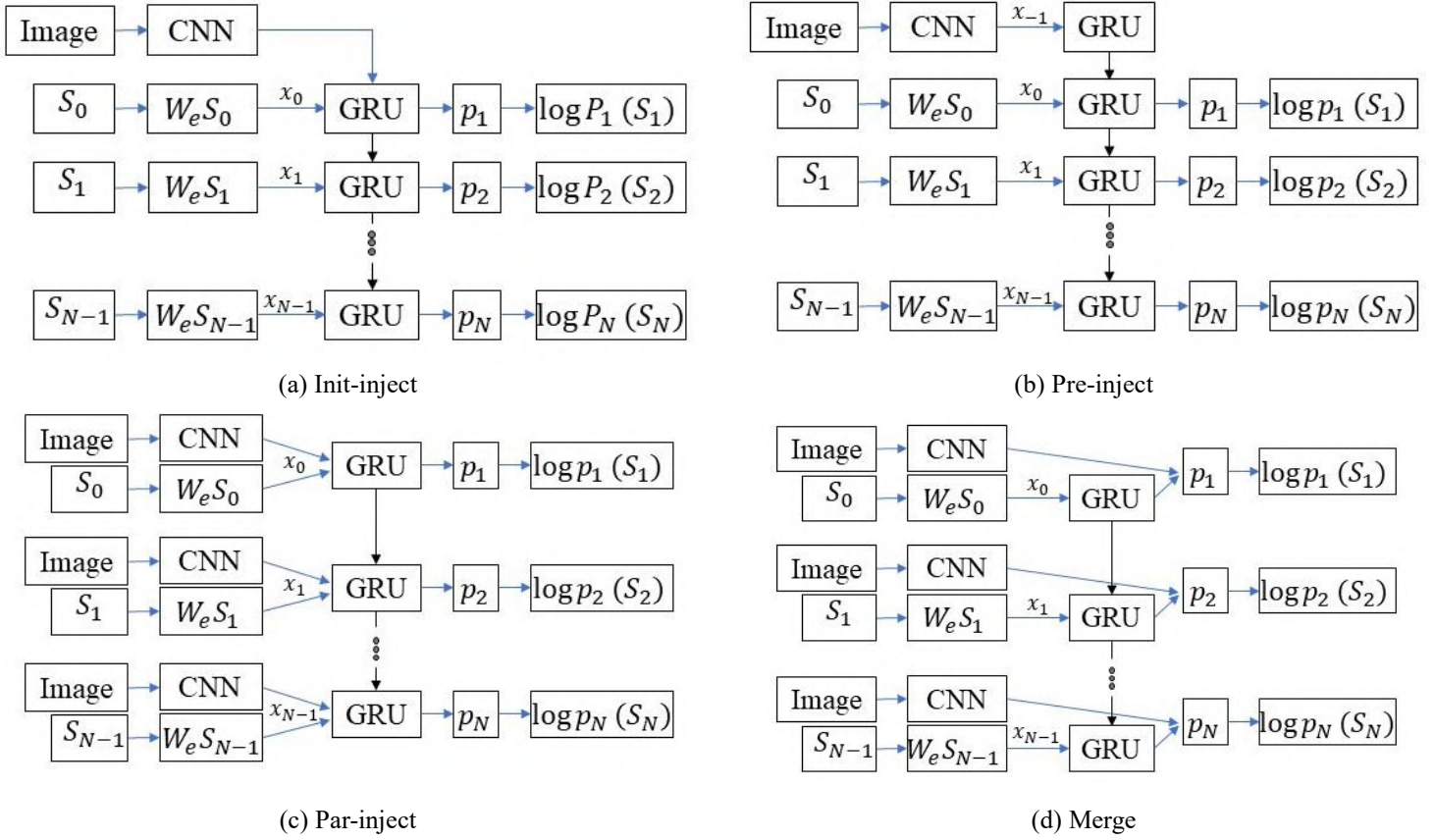


Figure 2. An illustration of the four different architectures incorporating the visual and linguistic feature vector representations into the decoder. The image feature vector is used as an initial state of GRU in (a). The image feature vector is used as the first input in (b). The concatenated image feature vector and embedding vector are incorporated into the GRU in (c). GRU is fed only with an embedding vector, then GRU output is combined with the image vector in (d).

**Par-inject architecture:** The image and embedding vector are concatenated as a single input before incorporating into the GRU (Tanti et al., 2018). The probability calculation is represented in the par-inject architecture as

$$p_{t+1} = GRU(\text{concat}(x_t, CNN(I))), \quad (11)$$

$$t \in \{0, 1, \dots, N-1\}$$

where *concat* represents the concatenation that joins existing vectors together.

**Merge architecture:** GRU takes only the embedding vector that handles linguistic features in this architecture, whereas the image feature vector is fed into the architecture after the GRU processes the linguistic features (Tanti et al., 2018). The image feature vector and the output vector of the GRU are merged into a single vector to calculate the probability. The probability calculation of the merge architecture is given as

$$p_{t+1} = \text{concat}(GRU(x_t), CNN(I)), \quad (12)$$

$$t \in \{0, 1, \dots, N-1\}$$

The general structure of the four architectures is illustrated in Figure 2.

### 3. Experimental Evaluations

This section presents the dataset, performance metrics and the evaluation of feature-injection architectures on multi-layer GRU based decoder with or without the FC layer.

### 3.1. Dataset and Performance Metrics

In order to evaluate feature-injection architectures, a dataset including a variety of images with reference captions is required. Flickr8k (Hodosh, Young, & Hockenmaier, 2013), Flickr30k (Young, Lai, Hodosh, & Hockenmaier, 2014), VizWiz-Captions (Gurari et al., 2018) and MSCOCO (T.-Y. Lin et al., 2014) are publicly available image captioning datasets. Flickr8k and Flickr30k include 8000 and 31783 images with five reference captions focused on people and objects involved in specific events and activities. The VizWiz-Captions dataset consists of 23431 training, 7750 validation and 8000 test images taken by blind people, paired with five reference captions. MSCOCO is a relatively large dataset containing 118287 training and 5000 validation images, each annotated with at least five reference captions. As a result, the MSCOCO dataset was employed, which is the most commonly used in captioning studies because it comprises all of the images in the Flickr datasets and offers a wide diversity of contents.

The benchmark of the feature-injection architectures was built with several metrics such as BLEU-n ( $n = 1, 2, 3, 4$ ), ROUGE-L, SPICE, METEOR and CIDEr. BLEU was initially developed to evaluate the machine translation system, which counts the number of co-occurrence n-grams in the system and reference captions. METEOR is also used to evaluate machine translation, which considers the accuracy, recall rate, and F-value of the entire corpus. ROUGE-L is an automated text summary evaluation metric based on the longest subsequence at the sentence level. SPICE is a semantic metric for image captioning that evaluates by considering the objects, attributes, and relationships in the generated caption.

Table 1. Performance metrics results of different feature-injection architecture-based image captioning systems on MSCOCO dataset.

Decoder Design	Decoder	BLEU-1	BLEU-2	BLEU-3	BLEU-4	ROUGE-L	SPICE	METEOR	CIDEr
single-layer GRU	Init-inject	0.6232	0.4273	0.2828	0.1869	0.4545	0.1280	0.1993	0.6001
	Par-inject	<b>0.6336</b>	<b>0.4430</b>	<b>0.2971</b>	<b>0.1957</b>	<b>0.4621</b>	<b>0.1295</b>	<b>0.2008</b>	<b>0.6210</b>
	Pre-inject	0.6235	0.4273	0.2849	0.1893	0.4549	0.1240	0.1961	0.5821
	Merge	0.5923	0.3930	0.2547	0.1665	0.4279	0.1170	0.1842	0.5102
single-layer GRU with FC layer	Init-inject	0.5934	0.3950	0.2584	0.1696	0.4316	0.1140	0.1868	0.5131
	Par-inject	0.6304	<b>0.4348</b>	<b>0.2910</b>	<b>0.1932</b>	<b>0.4553</b>	<b>0.1251</b>	<b>0.1961</b>	<b>0.5903</b>
	Pre-inject	<b>0.6325</b>	0.4331	0.2883	0.1907	0.4540	0.1232	0.1948	0.5848
	Merge	0.5857	0.3823	0.2443	0.1581	0.4226	0.1077	0.1809	0.4953
3-layer GRU	Init-inject	<b>0.6379</b>	<b>0.4476</b>	<b>0.3038</b>	<b>0.2045</b>	<b>0.4640</b>	<b>0.1349</b>	<b>0.2067</b>	<b>0.6524</b>
	Par-inject	0.6200	0.4247	0.2850	0.1898	0.4517	0.1221	0.1938	0.5693
	Pre-inject	0.6169	0.4213	0.2814	0.1868	0.4496	0.1193	0.1908	0.5522
	Merge	0.5898	0.3904	0.2517	0.1623	0.4261	0.1164	0.1833	0.4988
3-layer GRU with FC layer	Init-inject	0.5618	0.3592	0.2221	0.1387	0.4090	0.0910	0.1637	0.3830
	Par-inject	<b>0.6240</b>	<b>0.4290</b>	<b>0.2881</b>	<b>0.1933</b>	<b>0.4538</b>	<b>0.1218</b>	<b>0.1945</b>	<b>0.5815</b>
	Pre-inject	0.6177	0.4222	0.2825	0.1885	0.4511	0.1188	0.1910	0.5609
	Merge	0.5903	0.3847	0.2463	0.1595	0.4236	0.1077	0.1802	0.4882

CIDEr is a customized metric for an image captioning system to evaluate the captions using sentence similarity to capture the notions of grammatically, saliency, and accuracy. Unlike CIDEr and SPICE, other metrics based on the ranking of captions (Young et al., 2014) and cannot evaluate novel image descriptions.

### 3.2. Results and Discussion

The feature-injection architectures have been examined under different designs of the multi-layer GRU based decoder and an FC layer to observe the effects in caption generation. All architectures were evaluated with BLEU-n, ROUGE-L, SPICE, METEOR, and CIDEr metrics on MSCOCO dataset. An FC layer is utilized before GRU for reducing the size of the image feature vector from 2048 to 128 as it leads further improvement in par-inject architecture (Tanti et al., 2018). The negative log-likelihood function and Adam optimization algorithm are applied with the following training parameters: 50 epochs, batches of 128 image caption pairs and a hidden state size of 128.

The experimental results in Table 1 are mainly evaluated based on CIDEr due to its better correlation with human assessment compared to other metrics. Extensive experiments indicate that inject-based architectures mostly outperform the merge architecture in terms of all performance metrics. The par-inject architecture performs better than the other architectures for a single-layer GRU regardless of the FC layer. The connection of the FC layer to the par-inject does not lead to any improvement in the single-layer GRU, however, the improvement is clear in the 3-layer GRU. On the contrary, the FC layer does not have a direct impact on the other architectures. The performance of the init-inject architecture is enhanced with the increase of the layer size contrary to others. Among all the designs, the highest performance is obtained by 3-layer GRU under the init-inject architecture which incorporates the high-level visual information without the FC layer before the GRU. Table 2 shows the ground truth (reference) and generated captions on samples from MSCOCO for each decoder design. These results indicate that the generated captions are coherent with the CIDEr scores as more meaningful captions are obtained.

## 4. Conclusions

In this study, a benchmark of feature-injection architectures that incorporate visual information into the decoder is reported. These architectures are based on a CNN that encodes an image into a feature vector, followed by a GRU based decoder that generates the corresponding caption of the image. These architectures are tested with multi-layer GRU, and an FC layer to see their contributions to captioning performance. Extensive evaluations of architectures on the MSCOCO dataset demonstrate that the init-inject architecture with multi-layer GRU design offers promising performance compared to the other architectures. In the future study, the effect of hyper-parameters on the generating captions will be investigated to provide a tuning strategy for respective architectures.

## 5. Acknowledge

This research was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK)-British Council (The Newton-Katip Celebi Fund Institutional Links, Turkey-UK project: 120N995) and TUBITAK 2209-B Industry Oriented Research Project Support Programme for Undergraduate Students with project no: 1139B412000694.



Table 2. Examples of ground truth and generated captions of images selected from the MSCOCO validation set.

Decoder Design	MSCOCO Images	Reference Captions	Generated Captions
Single-layer GRU		<ul style="list-style-type: none"> <li>• A baseball game is in action as a batter swings.</li> <li>• A baseball game with a batter ready to swing.</li> <li>• A batter, catcher and umpire in a baseball game.</li> <li>• A photo of a person being taken in this picture.</li> <li>• A baseball player holding a bat while standing on a field.</li> </ul>	<p><b>Init-inject:</b> Man swinging a baseball bat on a field.</p> <p><b>Par-inject:</b> <u>A baseball player swinging a bat at a game.</u></p> <p><b>Pre-inject:</b> A baseball player is getting ready to hit a ball.</p> <p><b>Merge:</b> A baseball player is getting ready to hit the ball.</p>
Single-layer GRU with FC layer		<ul style="list-style-type: none"> <li>• A rain covered terrain after a night of rain.</li> <li>• A street at night time with many different lights.</li> <li>• A bright city street with a stop light and a big christmas tree.</li> <li>• An empty street at night with lots of lights in the background.</li> <li>• A red traffic light at night next to a christmas tree.</li> </ul>	<p><b>Init-inject:</b> A night time view of a city street with a church in the distance.</p> <p><b>Par-inject:</b> <u>A night view of a city street with lit up tower.</u></p> <p><b>Pre-inject:</b> A street with a lot of cars and a large building.</p> <p><b>Merge:</b> A street light at night with lights on.</p>
3-layer GRU		<ul style="list-style-type: none"> <li>• A dog that is sitting down in a backseat.</li> <li>• An adorable brown and white dog hanging it's head out of a window.</li> <li>• A dog looking out the window as seen through a mirror.</li> <li>• A dog has its head hanging out of a window.</li> <li>• The reflection of a dogs head out of a car window in one of the cars wing mirrors.</li> </ul>	<p><b>Init-inject:</b> <u>A dog is sitting on a car with his head sticking out the window.</u></p> <p><b>Par-inject:</b> A dog is standing in the car.</p> <p><b>Pre-inject:</b> A dog that is sitting on a car.</p> <p><b>Merge:</b> A man in a car is seen through the mirror.</p>
3-layer GRU with FC layer		<ul style="list-style-type: none"> <li>• A man walking next to a snowy hill.</li> <li>• A cross country skier traveling down a slight slope.</li> <li>• A man with skis and ski poles is standing next to a hill covered in snow.</li> <li>• The elderly man on skis is making his way down the edge of the snow-covered road.</li> <li>• A person on skis riding down a snowy slope.</li> </ul>	<p><b>Init-inject:</b> A group of people who are standing in the snow.</p> <p><b>Par-inject:</b> <u>A person is walking down a hill with a pair of skis.</u></p> <p><b>Pre-inject:</b> A man is skiing in a snowy field.</p> <p><b>Merge:</b> A man is standing in a field with a pair of skis.</p>
Comparison of best decoder architectures		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Water traffic along the thames by big ben.</li> <li>• A barge floating down a river with the skyline in the background.</li> <li>• The enveloping of an outside town in the picture.</li> <li>• Tall building sitting on the rivers edge and a barge.</li> <li>• A castle and the big ben clocktower next to a river.</li> </ul>	<p><b>Par-inject:</b> A view of a big clock tower in London. <b>(Single-layer GRU)</b></p> <p><b>Par-inject:</b> A big ben clock tower towering over a city. <b>(Single-layer with FC layer)</b></p> <p><b>Init-inject:</b> <u>A view of a river with boats and a clock tower in the background.</u> <b>(3-layer GRU)</b></p> <p><b>Par-inject:</b> A large building with a clock tower on it. <b>(3-layer with FC layer)</b></p>



## References

- Anderson, P., Fernando, B., Johnson, M., & Gould, S. (2016). *Spice: Semantic propositional image caption evaluation*. Paper presented at the European Conference on Computer Vision.
- Banerjee, S., & Lavie, A. (2005). *METEOR: An automatic metric for MT evaluation with improved correlation with human judgments*. Paper presented at the Proceedings of the acl workshop on intrinsic and extrinsic evaluation measures for machine translation and/or summarization.
- Baran, M., Moral, Ö. T., & Kılıç, V. (2021). Akıllı Telefonlar için Birleştirme Modeli Tabanlı Görüntü Altyazılama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(26), 191-196.
- Çaylı, Ö., Makav, B., Kılıç, V., & Onan, A. (2020). *Mobile Application Based Automatic Caption Generation for Visually Impaired*. Paper presented at the International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems.
- Chang, S.-F. (1995). *Compressed-domain techniques for image/video indexing and manipulation*. Paper presented at the Proceedings., International Conference on Image Processing.
- Chiarella, D., Yarbrough, J., & Jackson, C. A.-L. (2020). Using alt text to make science Twitter more accessible for people with visual impairments. *Nature Communications*, 11(1), 1-3.
- Chollet, F. (2017). *Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- Chung, J., Gulcehre, C., Cho, K., & Bengio, Y. (2014). Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling. *arXiv preprint arXiv*.
- Devlin, J., Cheng, H., Fang, H., Gupta, S., Deng, L., He, X., . . . Mitchell, M. J. a. p. a. (2015). Language models for image captioning: The quirks and what works.
- Donahue, J., Anne Hendricks, L., Guadarrama, S., Rohrbach, M., Venugopalan, S., Saenko, K., & Darrell, T. (2015). *Long-term recurrent convolutional networks for visual recognition and description*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- Gao, Y., & Glowacka, D. (2016). *Deep gate recurrent neural network*. Paper presented at the Asian conference on machine learning.
- Gers, F. A., & Schmidhuber, E. (2001). LSTM recurrent networks learn simple context-free and context-sensitive languages. *IEEE Transactions on Neural Networks Learning Systems*, 12(6), 1333-1340.
- Gurari, D., Li, Q., Stangl, A. J., Guo, A., Lin, C., Grauman, K., . . . Bigham, J. P. (2018). *Vizwiz grand challenge: Answering visual questions from blind people*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). *Deep residual learning for image recognition*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. J. N. c. (1997). Long short-term memory. 9(8), 1735-1780.
- Hodosh, M., Young, P., & Hockenmaier, J. (2013). Framing image description as a ranking task: Data, models and evaluation metrics. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 47, 853-899.
- Keskin, R., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). *Multi-GRU Based Automated Image Captioning for Smartphones*. Paper presented at the 2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU).
- Kılıç, V. (2021). Deep Gated Recurrent Unit for Smartphone-Based Image Captioning. *Sakarya University Journal of Computer Information Sciences*, 4(2), 181-191.
- Kulkarni, G., Premraj, V., Ordonez, V., Dhar, S., Li, S., Choi, Y., . . . Berg, T. L. (2013). Babytalk: Understanding and generating simple image descriptions. *IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence*, 35(12), 2891-2903.
- Lin, C.-Y. (2004). *Rouge: A package for automatic evaluation of summaries*. Paper presented at the Text Summarization Branches Out.
- Lin, T.-Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., . . . Zitnick, C. L. (2014). *Microsoft coco: Common objects in context*. Paper presented at the European Conference on Computer Vision.
- Liu, S., Zhu, Z., Ye, N., Guadarrama, S., & Murphy, K. (2016). Optimization of image description metrics using policy gradient methods.
- Liu, X., Xu, Q., & Wang, N. (2019). A survey on deep neural network-based image captioning. *The Visual Computer*, 35(3), 445-470.
- Makav, B., & Kılıç, V. (2019a). *A new image captioning approach for visually impaired people*. Paper presented at the 2019 11th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO).
- Makav, B., & Kılıç, V. (2019b). *Smartphone-based image captioning for visually and hearing impaired*. Paper presented at the 2019 11th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO).
- Mao, J., Wei, X., Yang, Y., Wang, J., Huang, Z., & Yuille, A. L. (2015). *Learning like a child: Fast novel visual concept learning from sentence descriptions of images*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision.
- Nina, O., & Rodriguez, A. (2015). *Simplified LSTM unit and search space probability exploration for image description*. Paper presented at the 2015 10th International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS).
- Ordonez, V., Kulkarni, G., & Berg, T. (2011). Im2text: Describing images using 1 million captioned photographs. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 24, 1143-1151.
- Ouyang, H., Zeng, J., Li, Y., & Luo, S. J. P. (2020). Fault detection and identification of blast furnace ironmaking process using the gated recurrent unit network. 8(4), 391.
- Papineni, K., Roukos, S., Ward, T., & Zhu, W.-J. (2002). *Bleu: a method for automatic evaluation of machine translation*. Paper presented at the Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics.
- Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z. (2016). *Rethinking the inception architecture for computer vision*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- Tanti, M., Gatt, A., & Camilleri, K. P. (2018). Where to put the image in an image caption generator. *Natural Language Engineering*, 24(3), 467-489.
- Tao, Y., Wang, X., Sánchez, R.-V., Yang, S., & Bai, Y. (2019). Spur gear fault diagnosis using a multilayer gated recurrent unit approach with vibration signal. *IEEE Access*, 7, 56880-56889.

- Targ, S., Almeida, D., & Lyman, K. (2016). Resnet in resnet: Generalizing residual architectures. *arXiv preprint arXiv:1607.08029*.
- Vedantam, R., Lawrence Zitnick, C., & Parikh, D. (2015). *Cider: Consensus-based image description evaluation*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- Vinyals, O., Toshev, A., Bengio, S., & Erhan, D. (2015). *Show and tell: A neural image caption generator*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- Vinyals, O., Toshev, A., Bengio, S., & Erhan, D. (2016). Show and tell: Lessons learned from the 2015 mscoco image captioning challenge. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39(4), 652-663.
- Yao, T., Pan, Y., Li, Y., Qiu, Z., & Mei, T. (2017, 22-29 Oct. 2017). *Boosting Image Captioning with Attributes*. Paper presented at the 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV).
- Young, P., Lai, A., Hodosh, M., & Hockenmaier, J. (2014). From image descriptions to visual denotations: New similarity metrics for semantic inference over event descriptions. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 2, 67-78.



# ***Clinopodium dolichodontum* (P.H.Davis) Bräuchler & Heubl 'un *In vitro* Çimlenmesi ve Fide Gelişimi Üzerine Araştırmalar**

Yelda Emek<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Aydın, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1095-3908),  
[yelda@adu.edu.tr](mailto:yelda@adu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 11 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1007952)

**ATIF/REFERENCE:** Emek, Y. (2021). *Clinopodium dolichodontum* (P.H.Davis) Bräuchler & Heubl 'un *In vitro* Çimlenmesi ve Fide Gelişimi Üzerine Araştırmalar. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 469-474.

## **Öz**

Labiatae familyasına ait *Clinopodium dolichodontum* (P.H.Davis) Bräuchler & Heubl nesli tehdit altında olan endemik ve tıbbi öneme sahip bir türdür. Bu familyanın üyeleri sekonder metabolit ve antioksidan özellikleri ile karakterize edilmektedir. *C. dolichodontum* izomenton, cts-piperiton oksit, pulegon, piperiton içermektedir. Türün doğal popülasyonunun küçük olması nedeniyle çoğaltılması için alternatif yönteme ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, *C. dolichodontum* 'un *in vitro* çimlenmesi ve fide gelişimi araştırılmıştır. İlk olarak, *in vitro* çimlenme üzerine besin ortamlarının ve gibberellik asidin etkisi araştırılmıştır. Sterilize edilen tohumlar, MS, B5 ve WH (White) sıvı ortamlarında kültüre alındı. Buna ilaveten, distile su (DS) kontrol olarak kullanılmıştır. DS ortamında diğer ortamlardan daha yüksek oranda çimlenme elde edilmiştir. Tohumların *in vitro* çimlenmesi üzerine gibberellik asit (GA<sub>3</sub>) 'in etkisini belirlemek için tohumlar GA<sub>3</sub> ilaveli (1, 2 veya 3 mg L<sup>-1</sup>) DS'da kültüre alınmıştır. En yüksek çimlenme değeri (% 80) 1 mgL<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub> içeren ortamda elde edilmiştir.

İkinci olarak ise *in vitro* fide gelişimi için uygun besin ortamı araştırılmıştır. Çimlenme sonucunda elde edilen bitkicikler fide gelişimi için katılaştırılmış MS, WH ve B5 ortamlarına aktarılmışlardır. İkinci alt kültür sonunda fide gelişimi, sürgün sayısı, maksimum sürgün boyu, kök sayısı ve kök boyu dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre MS ortamı *in vitro* fide gelişimi için en uygun besin ortamı olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Clinopodium dolichodontum*, *In vitro*, Çimlenme, Gibberellik asit (GA<sub>3</sub>), Fide gelişimi.

## **Researchs on *In vitro* Germination and Seedling Development of *Clinopodium dolichodontum* (P.H.Davis) Bräuchler & Heubl**

### **Abstract**

*Clinopodium dolichodontum* (P.H. Davis) Bräuchler & Heubl, belonging to the Labiatae (Lamiaceae) family, is a critically endangered endemic and medicinal plant. Members of this family are characterized by their secondary metabolite and antioxidant properties. *C. dolichodontum* contains isomentone, cts-piperitone oxide, pulegon, piperitone. Due to the small natural population of the species, an alternative method is needed for the propagation of individuals of the species.

In this paper, *in vitro* germination and seedling growth of *C. dolichodontum* were investigated. At the first step, the effect of media and gibberellic acid on *in vitro* seed germination was investigated. The sterilised seeds were cultured on MS, B5 and WH (White) liquid media. Additionally, distilled water (DW) was used as a control. A higher ratio of germination was obtained on the DW medium than in other media. To determine the effect of gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) on *in vitro* germination, seeds were cultured on DW supplemented with GA<sub>3</sub> (1, 2 or 3 mg L<sup>-1</sup>). The highest germination value (80%) was obtained on DW with 1 mg L<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>.

At the second step, an appropriate medium for *in vitro* seedling development was investigated. Plantlets obtained from germinated seeds were transferred to solidified MS, B5 and WH media for seedling development. After the end of two subcultures the development of seedlings was evaluated by taking into account the number of shoots, maximum shoot length, number of roots and root length. MS was determined the most suitable medium for seedling development according to findings.

**Keywords:** *Clinopodium dolichodontum*, *In vitro*, Germination, Gibberellic acid (GA<sub>3</sub>), Seedling development

\* Sorumlu Yazar: [yelda@adu.edu.tr](mailto:yelda@adu.edu.tr)

## 1. Giriş

Türkiye, yaklaşık 11.707 çiçekli bitki türü ile biyolojik çeşitlilik bakımından Dünya'nın en zengin ülkelerindedir. (Güner ve ark., 2000, Güner ve ark., 2012). Lamiaceae (Labiatae) bu zenginlik içerisinde yer alan 3. büyük familyadır. Aynı zamanda tür sayısı bakımından da gen merkezi durumundadır. Bu familya ülkemiz florasında 346 taksonu endemik olan 782 takson ve 48 genus ile temsil edilmektedir. Endemizim değeri % 44.2 dir (Ertan ve ark., 2001; Arslan ve ark., 2002; Celep ve Dirmenci, 2017). Familyanın üyeleri içerdiği biyolojik bileşikler nedeniyle tıbbi olarak geniş bir kullanım alanına sahiptirler.

Tıbbi önem taşıyan bitkiler ilk çağlardan beri halk ilacı olarak yaygın kullanıma sahiptirler (Tosun ve ark., 2016). Floramızda yer alan bu türlerden ilaç, boya, baharat ve gıda olarak yararlanılması köklü bir gelenek haline gelmiştir (Çelikel, 2015). Bu familya üyelerinin bir kısmı geniş yayılım alanına sahip iken bir kısmı daha dar bir alanda yayılış göstermektedir. Familya üyeleri tıbbi ve aromatik özellikte olmaları nedeniyle doğadan kontrolsüz bir şekilde toplanmakta, bu ise özellikle dar yayılış alanına sahip türlerin popülasyonlarının daha da daralmasına neden olmaktadır. Bu durumun devamı halinde ilerleyen yıllarda özellikle küçük popülasyona sahip türlerin yok olma tehlikesi ile karşı karşıya kalacağı öngörülmektedir. Bunun önüne geçebilmek için; tıbbi, endemik ve tehlike altında bulunan türlerin korunması için zaman geçirmeksizin koruma stratejilerinin oluşturulması ve derhal pratiğe aktarılması gerekmektedir.

*In situ* ve *ex situ* koruma stratejileri bu anlamda önem kazanmaktadır. *Ex situ* koruma stratejilerinden biri olan doku kültürü yöntemleri kullanılarak; *in vitro* üretim prosedürü belirlendikten sonra çok kısa sürede ve çok sayıda bitkinin çoğaltımı sağlanabilmektedir. Doku kültüründe başlangıç materyali eksplant olarak adlandırılır. Doku kültürü çalışmaları için en uygun eksplant kaynağı ise tohumların *in vitro* çimlendirilmesi ile elde edilen fidelerdir (Mercier ve Kerbauy, 1997).

Çimlenme olayı çoğu çiçekli bitki de yaşama başlangıcının ilk adımındır. Bu aşama, dinlenme evresindeki tohum tarafından suyun alınımını izleyen embriyonik eksen olan kökün ortaya çıkmasıyla sona ermektedir (Zielinski ve ark., 2006). Nadir ve endemik türlerin koruma çalışmalarında strateji oluşturabilmek için tohum çimlendirmesinin aydınlatılması önemlidir (Lorite ve ark., 2007; Blanca ve ark., 1998; Moreno-Saiz ve ark., 2003).

Çimlenmeyi etkileyen içsel ve dışsal faktörler vardır. Bitki büyüme düzenleyicilerinden bir kısmı (oksin, sitokinin ve gibberellinler) çimlenmeyi teşvik ederken, absisik asidin ise çimlenmeyi engelleyici etkisinin olduğu bilinmektedir (Palavan-Ünsal, 1993; Ünyayar, 1995).

Türkiye de *Clinopodium* cinsi 3'ü endemik olan 16 tür ile temsil edilmektedir (Kuşaksız, 2019). *Micromeria dolichonta* P.H Davis Uluslararası Doğayı Koruma Birliği (IUCN) tehdit kategorilerine göre çok tehlikede "CR" kategorisindedir (Ekim ve ark., 2000). Son yıllardaki gerçekleştirilen sistematik ve filogenetik çalışmalar ile tür *Clinopodium* cinsine aktarılmış ve *Clinopodium dolichodontum* (P.H.Davis) Bräuchler & Heubl olarak yeniden adlandırılmıştır (Bräuchler ve ark., 2006). Bu türün Türkçe adı ise "Dişli Fesleğen" olarak verilmektedir (Güner ve ark., 2012).

*Clinopodium* cinsine ait türler tıbbi ve aromatik özelliğe sahiptirler. Bunlardan *Clinopodium bolivianum* türünün anti-enflamatuvar (Soumitra ve ark., 2017), *Clinopodium macrostemum* var. *laevigatu* 'ın DPPH radikalini giderici etkisinin

(Turner, 2008; Villa-Ruano ve ark., 2013) olduğu, *C. macrostemum* var. *macrostemum* ise antioksidan, karaciğer ve nöron koruyucu etkisinin olduğu bulunmuştur (Perez, 2013). *Clinopodium vulgare* L. subsp. *vulgare* 'nin antitümoral (Dzhambazov ve ark., 2002) ve antibakteriyel (Opalchenova ve Obreshkova, 1999; Şener ve ark., 2018) ve antioksidan (Şener ve ark., 2018) özellik gösterdiği saptanmıştır.

*Clinopodium dolichodontum* türü ise izomenton (%23), cts-piperiton oksit (%17), pulegon (%15), piperiton (%10) içermektedir (Başer ve ark., 1997). *C. dolichodontum* toprak üstü kısımları, çiçek dalları, yaprakları, sürgünleri yaygın olarak halk tarafından kullanılmaktadır. Türün çeşitli kısımları safra taşlarına, ağrı kesici olarak, mide-bağırsak hastalıkları için, soğuk algınlığına, gribe, nefes darlığı ve göz rahatsızlıklarında tedavi için kullanılmakta (Öztürk ve Altay, 2017); ayrıca, toprak üstü kısımları kurutulup, *bitki çayı* olarak tüketilmektedir (Sargin ve Büyükcengiz, 2019).

Öte yandan, günümüze dek türün korunmasına ve çoğaltılmasına yönelik sadece bir çalışma olup, o da türün aksiller çoğaltım yoluyla üretimini içermekte (Emek, 2018a); ancak, şimdiye kadar, türün *in vitro* koşullarda çimlenmesi ve fide gelişimi ile ilgili olarak yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bu çalışmanın amacı, endemik ve tıbbi önem taşıyan ve yok olma tehlikesi olan *C. dolichodontum* 'un *in vitro* koşullardaki çimlenme ve fide gelişimi gereksinimlerini belirlemektir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Tohum Sterilizasyonu

Tohumlar sterilize edilmeden önce akan çeşme suyu altında bir saat boyunca yıkanıp, ardından steril laminar kabine alınarak bir dizi işleme tabii tutuldu; sırasıyla % 50'lik EtOH'de 1 dakika, % 2.5'lik NaOCl'de (3-4 damla tween-20 içeren) 5 dakika bekletildikten sonra, üç kez 5'er dakika steril distile su ile durulanmıştır.

### 2.2. *In vitro* Çimlenme

Çimlenme denemeleri, *C. dolichodontum* tohumlarının çimlenmesi üzerine farklı besin ortamlarının ve gibberellik asidin (GA<sub>3</sub>) etkisini belirlemek için planlanmıştır.

Steril edilen tohumlar 50'şer mL besin ortamı içeren 190 cc'lik kavanozlarda kültüre alınmışlardır. Denemelerde sıvı ortamlar kullanılmıştır ve tohumlara fiziksel destek sağlayabilmek için bilye ve kağıt köprüler içeren kavanozlar hazırlanmıştır.

#### 2.2.1. Çimlenme Üzerine *In vitro* Besin Ortamlarının Etkisi

Çimlenme üzerine *in vitro* besin ortamının etkisini belirlemek amacıyla MS (Murashige ve Skoog, 1962), White (WH), (White, 1963) ve B5 (Gamborg ve ark., 1968) ortamları kullanılmıştır. Distile su (DS) ortamı ise kontrol olarak kullanılmıştır. Besin ortamlarının pH'sı, 0.1 molar sodyum hidroksit ve 0.1 molar hidroklorik asit çözeltileri kullanılarak DS ve MS için 5.8'e, White ve B5 ortamları için 5.5'e ayarlanmıştır. Hazırlanan besin ortamları önceden hazırlanmış kavanozlara paylaştırılmış ve kavanozlar 121 °C'ta 105 kPa basınç altında 15 dakika boyunca steril edilmiştir.

#### 2.2.2. Çimlenme Üzerine Gibberellik Asidin Etkisi



Çimlenme üzerine giberellik asit (GA<sub>3</sub>) etkisini belirlemek için farklı konsantrasyonlarda GA<sub>3</sub> (0, 1, 2 ve 3 mg L<sup>-1</sup>) içeren distile su (DS) ortamları kullanılmıştır. Gibberellik asit 0.22 µm'lik milipore filtre kullanılarak steril edilmiştir.

Tüm çimlenme denemeleri kavanoz başına 20 tohum olacak şekilde 3 tekrardır. Tüm denemeler 2 kez tekrar edilmiştir. Kültürler 25 ± 2 °C'ta ve 16-h ışık periyodunda tutulmuşlardır.

Radikula çıkışı çimlenme kriteri olarak kabul edilmiş; değerlendirmeler altı haftanın sonunda aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır (ISTA, 1999)

% Çimlenme = Çimlenen tohumların sayısı / Toplam tohum sayısı × 100

### 2.3. *In vitro* Fide Gelişimi

Türün fide gelişimi için uygun besin ortamının belirlenmesi için MS, White ve B5 ortamları kullanılmıştır. Besi ortamları % 0.8 Agar-Agar (Merck) ile katılaştırılmıştır. Hazırlanan ortamlar 121 °C'ta 105 kPa altında 15 dakika boyunca steril edilmiştir.

Çimlenen tohumlardan elde edilen steril bitkicikler fide gelişimi için MS, B5 ve WH ortamlarına aktarılmışlardır. Kültürler 25 ± 2 °C'ta ve 16-h ışık periyodunda tutulmuşlardır.

Bitkicikler her kavanoza iki fide olacak şekilde kültüre alınmış olup, her bir denemede 10 kavanoz kullanılmış ve tüm denemeler üç kez tekrar edilmiştir. Kültürler dört haftalık periyotlarla alt kültür edilmiştir. İkinci alt kültür sonunda fidecikler sürgün sayısı, maksimum sürgün boyu, kök sayısı ve kök boyu dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Araştırmada elde edilen verilerin değerlendirilmesi SPSS 16 programı ile yapılmış; ortalamalar arasındaki farklılıklar Duncan Çoklu Oran Testi (p<0.05) ile saptanmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. *In vitro* Çimlenme

Tohum sterilizasyonu %100 oranında steril kültür eldesi ile başarılı olmuştur. *In vitro* tohum çimlenmesi üzerine besin ortamının etkisini araştırmak amacıyla gerçekleştirilen denemede farklı oranlarda çimlenme elde edilmiştir. Besin ortamı bileşimi çimlenmeyi etkilemiştir. En yüksek çimlenme değeri (%60) DS 'da, en düşük çimlenme değeri (% 30) ise B5 ortamında elde edilmiştir (Şekil 1).

Tohum çimlenmesi sırasında mineral madde gereksinimi türden türe değişmektedir (Padilla ve Encina, 2003). *C. dolichodontum* tohumlarının çimlenebilmesi için mineral madde gereksinimi yoktur. Benzer sonuçların elde edildiği pek çok çalışma bulunmaktadır. *Centaurea zeybekii in vitro* tohum çimlenmesi üzerine gerçekleştiren bir çalışmada, MS, B5, White ortamları ile vitamin destekli distile su 'nun çimlenme üzerine etkisi araştırılmış ve en yüksek çimlenme değerinin distile suda elde edildiği belirtilmiştir (Kurt ve Erdağ, 2009). Tıbbi endemik bir tür olan *Nepeta viscida* Boiss.'nin *in vitro* tohum çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine gerçekleştirilen bir çalışmada, çimlenme üzerine *in vitro* besin ortamlarının etkisi araştırılmış ve en yüksek çimlenme değerinin (75%) 2 mg L<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub> ilaveli DS ortamında elde edildiği belirtilmiştir (Emek, 2018b). Benzer şekilde, Erdağ ve ark. (2018) 'nın *Nepeta nuda* subsp. *albiflora* 'nın tohum çimlenmesi ile ilgili olarak gerçekleştirdikleri çalışmada da türün çimlenme için besin gereksinimi olmadığı belirtilmiş ve en yüksek çimlenme değeri (%85) distile su'da elde edilmiştir.

Denemelerde kullanılan *in vitro* ortamların tuz içerikleri birbirinden farklıdır. MS ortamı yüksek tuz içeriğine sahip bir ortamdır ve genellikle yüksek tuz içerikli besin ortamları

çimlenmeyi azaltmaktadır (Bauri ve ark., 2009). Bazı bitkiler için tuzluluk, tohum çimlenmesini olumsuz olarak etkileyen bitki gelişimini geciktiren ve ürün oluşumunu da azaltan bir faktör olarak değerlendirilir (Greenway ve Munns, 1980). Tuzluluk, ya su alınımını engelleyen osmotik potansiyele neden olarak ya da embriyo canlılığı üzerine iyonların toksik etki oluşturarak tohum çimlenmesini olumsuz şekilde etkileyebilir (Lianes ve ark., 2005).

Giberellik asidin çimlenme üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmalar sonucunda GA<sub>3</sub> ün çimlenme üzerine pozitif etki göstermiş olduğu gözlenmiştir (Şekil 2). Tüm GA<sub>3</sub> uygulamalarında çimlenme teşvik edilmiştir. Ancak en yüksek çimlenme oranı (% 80) 1 mgL<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub> içeren DS ortamında elde edilmiştir.

Giberellik asidin; Labiatae familyası üyelerinin tohum çimlenmesini teşvik ettiği saptanmıştır (Yücel, 1996; Gökçeoğlu ve Sukatar, 1987; Ünal ve ark., 2004; Emek, 2018b; Hilooğlu ve ark., 2016). Gibberellinler, çimlenmenin başlaması ve kontrolünde önemli rollerinin yanısıra, dormant tohumlarda absisik asidin etkisini kaldırıp, nişasta ve depo proteinlerinin hidrolizini hızlandırarak çimlenmeyi uyarmakta (Cardemil ve Rainero, 1982); ayrıca, tohumlara eksojen olarak uygulanan Gibberellik asidin, α-amilaz enzimi etkinliğini arttırmaktadır (Wurzbürger ve Lehsem, 1974).

### 3.2. *In Vitro* Fide Gelişimi

Çimlenme sonrası elde edilen steril bitkicikler; gelişimleri için uygun olan *in vitro* ortamın belirlenmesi amacıyla MS, B5 ve White ortamlarında kültüre alınmışlardır. Kültür ortamının kimyasal kompozisyonu *in vitro* bitki çoğaltım çalışmalarında önemli rol oynamakta, optimal koşulların dışındaki kültür ortamı türlerde hastalıklara ve doku ölümüne neden olabilmektedir.

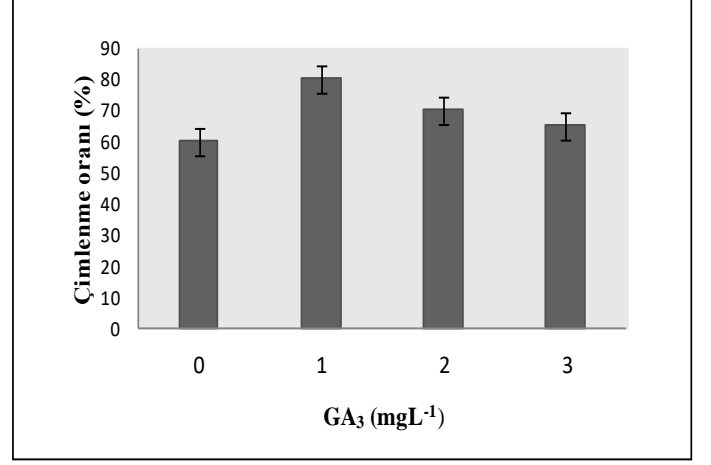
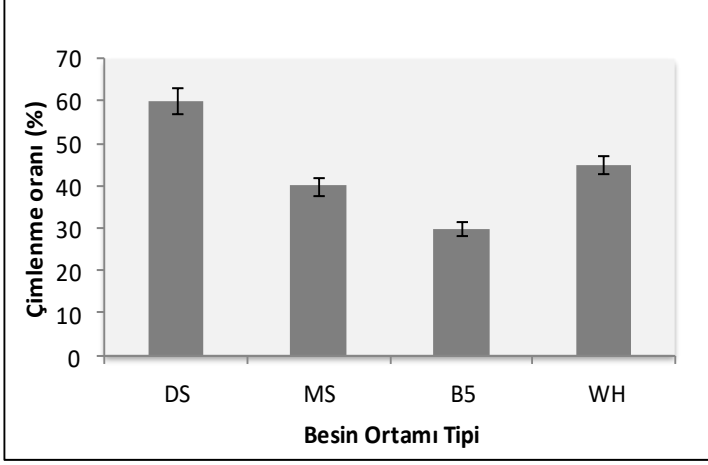
İkinci alt kültür sonucunda MS, B5 ve WH ortamlarındaki fideler değerlendirildiğinde en yüksek sürgün sayısı (6.10 ± 0.24), maksimum sürgün boyu (6.86 ± 0.81), kök sayısı (6.80 ± 1.09) ve kök boyu (5.41 ± 0.53) ile fide gelişimi için en uygun ortamın MS olduğu sonucuna varılmıştır (Tablo 1, Şekil 3).

Fideler 2. alt kültür sonucunda değerlendirildiğinde, WH ortamı fide gelişimini olumsuz yönde etkilemiş, bu nedenle fidelerde doku ölümleri ile canlılık kaybı görülmeye başlamıştır. White besi ortamına aktarılan fidelerin % 60'nın hayatta kaldığı; B5 ve MS ortamlarında yetiştirilen fidelerin ise %100 oranında canlılıklarını korudukları gözlenmiştir. Bulgularımız, araştırmalarında deneme materyali olarak Lamiaceae familyasından *Dorystoechas hastata* (Erdağ ve ark., 2010), *Centaurea zeybekii* (Kurt ve Erdağ, 2009), *Nepeta viscida* Boiss. (Emek, 2018b) türlerini kullanan araştırmacıların bulguları ile benzerlik ve uyum içindedir.

Öte yandan, kullanılan besin ortamları mineral içerikleri bakımından birbiriyle karşılaştırıldığında çoktan aza doğru MS, B5 ve WH olduğu bilinmektedir. B5 ortamı MS ortamı ile karşılaştırıldığında MS' e göre daha düşük nitrat ve amonyum içermektedir. Azot, bitkilerin *in vitro* ve *in vivo* büyümesine katkıda bulunan ana unsurlardan biridir. Aminoasitlerin, proteinlerin, bazı bitki büyüme düzenleyicileri ve klorofilin yapısına katılmaktadır. MS ortamı toplamda 60.03 mM azot içerirken, B5 ve WH ortamı sırasıyla 27.03 mM ve 3.33 mM azot içermektedir (Bhojwani ve Razdan, 1996). Bu nedenle MS ortamındaki fide gelişimi daha iyi olmakta; WH ortamı ise fide gelişimi için yeterli olmamaktadır.

İçerdikleri vitamin bakımından bu üç besi ortamı kıyaslandığında, WH ortamı diğer ortamlara göre daha düşük oranda vitamin içermektedir (Bhojwani ve Razdan, 1996). Bitkiler büyüme ve gelişme için vitaminleri sentezlerler (Chawla, 2002). Ancak, *in vitro*'da büyüyen bitki hücreleri

gerekli vitaminleri yalnızca optimal miktarın altında sentezleyebilirler; bu nedenle kültür ortamları büyümeyi arttırmak için vitaminlerle desteklenmelidir (Bhojwani ve Razdan, 1996). WH ortamının fide gelişimi için yetersiz gelmesi düşük besin ve vitamin içermesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 1. *C. dolichodontum* tohumlarının *in vitro* çimlenmesi üzerine besin ortamlarının etkisi

Şekil 2. *C. dolichodontum* tohumlarının *in vitro* çimlenmesi üzerine GA<sub>3</sub>'ün etkisi.

Tablo1 . *C. dolichodontum*'un *in vitro* fide gelişimi üzerine besin ortamının etkisi

	Besi Ortam	Sürgün Sayısı	Maksimum Sürgün Boyu(cm)	Kök Boyu (cm)	Kök Sayısı
1. Aikültür	MS	4.19 ± 0.25 a	3.70 ± 0.24 a	2.98 ± 0.56a	2.03 ± 0.26 a
	B5	3.30 ± 0.28 b	2.56 ± 0.20 b	2.71 ± 0.26 a	1.76 ± 0.21 a
	WH	2.73 ± 0.21 b	2.00 ± 0.18 b	2.11 ± 0.33 a	1.03 ± 0.03 b
2. Aikültür	MS	6.10 ± 0.24 a	6.86 ± 0.81 a	5.41 ± 0.53 a	6.80 ± 1.09 a
	B5	4.26 ± 0.41 b	4.26 ± 0.57 b	4.31 ± 0.56 ab	4.56 ± 1.14 a
	WH	2.96 ± 0.25 c	1.06 ± 0.21 c	2.91 ± 0.34 b	1.30 ± 0.09 b

Bir sütunda farklı harfle belirtilen ortalamalar Duncan Çoklu Oran Testine göre p < 0.05 hata sınırların içinde istatistiksel olarak farklıdır. Değerlerin tümü ortalama ± S.H (standart hata şeklinde verilmiştir).



Şekil 3. MS ortamında gelişen sekiz haftalık *C. dolichodontum* fidesi

## 4. Sonuç

*Clinopodium dolichodontum* (P.H.Davis) Bräuchler & Heubl türü CR kategorisinde yer alan tıbbi öneme sahip endemik bir tür olup; yapılan bu çalışmada türün tohumlarının *in vitro* ortamdaki çimlenmesi ile fide gelişimi için gereksinim duyulan besin ortamı laboratuvar koşullarında belirlenerek şu bulgulara ulaşılmıştır: Türün tohum çimlenmesi için mineral madde gereksinimi yoktur. Gibberellik asit çimlenmeyi teşvik etmiştir ve en yüksek çimlenme değeri (% 80) 1 mgL<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub> ilaveli distile suda elde edilmiştir. Fide gelişimi için en uygun besin ortamının MS ortamı olduğu, ikinci sırayı ise B5 ortamının takip ettiği söylenebilir. Ancak, WH ortamı düşük besin içeriği nedeniyle fide gelişimi için uygun değildir.

Doğal koşullarda yetişen *Clinopodium dolichodontum* (P.H.Davis) Bräuchler & Heubl bitkisi popülasyon ya da popülasyonlarına mekanik veya kimyasal olarak herhangi bir zarar vermeden korumaya almak önemli bir bitki gen kaynağının kullanılabilmesinin, yararlanılmasının ve sürdürülebilmesinin önünü açacak; içerdiği çeşitli tıbbi bileşiklerden etkili bir şekilde yararlanmayı olanaklı kılacak; yapılması düşünülen ya da planlanan çeşitli tarımsal biyoteknolojik veya multidisipliner araştırmalara örnek ve rehber olabilecek niteliktedir.

## 5. Teşekkür

Yazar, çalışmada başlangıç materyali olarak kullanılan tohumların temininden dolayı sayın Prof. Dr. Tuncay Dirmenci 'ye teşekkürü borç bilir.

Bu çalışmanın bir kısmı 1. Uluslararası Sağlık Bilimleri ve Yaşam Kongresi'nde (IHSC 2018) sözlü bildiri olarak sunulmuş ve kongre kitapçığında özet olarak yayımlanmıştır.

## Kaynakça

- Arslan, N., Gürbüz, B., Gümüüşü, A., Sarıhan, E. O., İpek, A., Özcan S, Mirici S ve ark., 2002. Researches on the cultivation of *Sternbergia candida* Mathew et. Baytop. Proceedings of 14th Meeting of Plant Originated Drugs Eskişehir, Turkey
- Başer, K.H.C, Kırimer, N., Duman, H. 1997. Composition of the essential oil of *Micromeria dolichodontha* P. H. Davis. Flavour and Fragrance Journal 12, 289-291.
- Bauri, M.W., Kulkarni, M.G., Street, R.A., Mulaudzi, R.B., Van Staden., J. 2009. Studies on seed germination, seedling growth, and *in vitro* shoot induction of *Aloe ferox* Mill., a commercially important species. Hort. Sci. 44(3),751-756.
- Bhojwani, S.S., Razdan, M.K. 1996. Plant Tissue Culture: Theory and Practice. Revised Edition, Elsevier Science, pp. 43, Amsterdam.
- Blanca, G., Cueto, M., Martinez-Lirola, M.J., Molero, J. 1998. Threatened vascular flora of *Sierra nevada* (Southern Spain). Biological Conservation 85, 269-285.
- Bräuchler, C., Meimberg, H., Heubl, G.. 2006. New names in old World *Clinopodium*. – the transfer of the species of *Micromeria* sect. *Pseudomelissa* to *Clinopodium*. Taxon 55, 977-981.
- Cardemil, L., Rainero, A. 1982. Changes of *Araucaria araucana* seed reserves during germination and early seedling. Canadian Journal of Botany 60, 1629-1639.
- Celep, F., Dirmenci, T. 2017. Systematic and biogeographic overview of *Lamiaceae* in Turkey. Naturel Volatiles, Essential Oils 4 (4), 14-27.

- Çelikel, D. 2015. *Hypericum perforatum* bitkisinden elde edilen kantaron yağının yara iyileşmesi üzerine etkilerinin deneysel olarak incelenmesi. Doktora tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Ağız Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı, Sivas, 196s.
- Chawla, H.S. 2002. Introduction to Plant Biotechnology Second Revision Edition Science Publishers Inc., p. 750 Enfield, New Hampshire.
- Dzhambazov, B., Daskalova, S., Monteveva, A., Popov, N., 2002. *In vitro* screening for antitumour activity of *Clinopodium vulgare* L. (Lamiaceae) extracts. Biological and Pharmaceutical Bulletin Journal 25, 499- 504.
- Ekim, T., Koyuncu, M., Vural, M., Duman, H., Aytaç, Z., Adıgüzel, N. 2000. Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı (Red Data Book of Turkish Plants), Pteridophyta and Spermatophyta. Türkiye Tabiatını Koruma Derneği, Ankara.
- Emek, Y. 2018a. *Micromeria dolichodontha* P.H. Davis 'nın *in vitro* aksiller sürgün yoluyla çoğaltımı. Avrupa Bilim ve Teknolojisi Dergisi 14, 337-342.
- Emek, Y. 2018b. Researches on *in vitro* germination and seedling development of medicinal endemic *Nepeta viscida* Boiss. belonging Lamiaceae family. Fresenius Environ. Bull. 27, 8119-8127.
- Erdağ, B., Emek, Y. Kurt, S. 2010. Clonal propagation of *Dorystoechas hastata* via axillary shoot proliferation. Turk. J. Bot. 34, 233-240.
- Erdağ, B., Emek, Y., Kuzu, İ., Bağdatlı, M.N. 2018. Axillary shoot proliferation from aseptic seedlings of *Nepeta nuda* subsp. *albiflora*. J. Med. Plant Stud. 6, 34-37.
- Ertan, A., Azcan, N., Demirci, B., Başer, K.H.C. 2001. Fatty acid composition of *Sideritis* species. Chemistry of Natural Compounds 37(4), 301-303.
- Gamborg, O.L., Miller, R.A., Ojima, K. 1968. Nutrition requirements of suspension cultures of soybean root cells. Exp. Cell Res 50, 151-159.
- Gökçeoğlu, M., Sukatar, A. 1987. Preliminary experiments on germination conditions of *Eranthis hyemalis* seeds. In: Herbal Drugs Raw Materials Meeting Proceedings Book, Ankara, 154-157.
- Greenway, H., Munns, R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. Annual Review of Plant Physiology 31, 149–190.
- Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T., Başer, C. 2000. “Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Supplement 2)” Vol. 11. University Press, Edinburgh.
- Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babaç, M.T. 2012. Türkiye bitkileri listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul.
- Hilooğlu, M., Yücel, E., Kandemir, A. Sözen, E. 2016. Endemik *Teucrium leucophyllum* (Lamiaceae) tohumlarında *in vitro* çimlendirme çalışmaları. Sinop Uni J. Nat. Sci 1(1), 53-61.
- ISTA. 1999. International rules for seed testing. Seed Science and Technology 21, 288 pp.
- Kurt S, Erdağ, B. 2009. *In vitro* germination and axillary shoot propagation of *Centaurea zeybekii*. Biologia-Section Botany 64(1), 97-101.
- Kuşaksız, G. 2019. Rare and endemic taxa of Lamiaceae in Turkey and their threat categories. Journal of Scientific Perspectives 3 (1), 69-84.
- Lianes, A., Reinoso, H., Luna. V. 2005. Germination and early growth of *Prosopis strombulifera* seedlings in different saline

- solutions. World Journal of Agricultural Sciences 1(2), 120-128.
- Lorite, J., Ruiz-Girela, M., Castro, J. 2007. Patterns of seed germination in Mediterranean mountains: study on 37 endemic or rare species from Sierra Nevada, SE Spain. *Candollea* 62, 5-16.
- Mercier, H. Kerbaudy, G.B. 1997. Micropropagation of ornamental bromeliads (Bromeliaceae). *Biotechnol. Agric. For.* 40, 43-57.
- Morene-Saiz, J.C., Dominguez, F., Sainez-Ollero, H. 2003. Recent progress in conservation of threatened Spanish vascular flora: A critical review. *Biological Conservation* 113, 419-431.
- Murashige, T., Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Plant Physiology* 15, 473-497.
- Opalchenova, G., Obreshkova, D. 1999. Antibacterial action of extracts of *Clinopodium vulgare* L. curative plant. *Drug Development and Industrial Pharmacy* 25, 323-328.
- Öztürk, M., Altay, V., Gücel, S., Altundağ, E. 2017. Plant diversity of the Drylands in Southeast Anatolia-Turkey: role in human health and food security. In: Ansari, A.A., Gill, S.S. (Eds.), *Plant Biodiversity: Monitoring, Assessment and Conservation*. CABI, Wallingford, pp. 83-124.
- Padilla, I.M.G., Encina, C.L. 2003. *In vitro* germination of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) seeds. *Hortic. Sci.* 97, 219-227.
- Palavan-Ünsal, N., 1993. Bitki Büyüme Maddeleri. İst. Üniv. Basımevi ve Film Merkezi, Üniversite Yayın No: 3677, İstanbul.
- Perez, G.R.M. 2013. Antihepatotoxic, nephroprotective, and antioxidant activities of phenolic compounds from *Satureja macrostema* leaves against carbon tetrachloride induced hepatic damage in mice. *Medicinal Chemistry Research* 22, 1846-1855.
- Sargın, S.A., Büyükcengiz, M. 2019. Plants used in ethnomedicinal practices in Gulnar district of Mersin, Turkey. *J. Herb. Med.* 15, 1-18.
- Soumitra, M., Witchuda, K., Silvia, Z., Corine, S., Eduardo, G., Claes-Goran, O., Annelie, B. 2017. Extract of *Clinopodium bolivianum* protects against *E. coli* invasion of uroepithelial cells. *Journal of Ethnopharmacology* 198, 214-220.
- Şener, S.Ö., Korkmaz, S., Akkaya, Ş., Badem, M., Aliyazıcıoğlu, R., Özgen, U., Karaoğlu, Ş.A. 2018. *Clinopodium vulgare* L. subsp. *vulgare* ekstresinin antioksidan, antimikrobial, tirozinaz inhibitor aktiviteleri ve RP-HPLC ile fenolik bileşiklerinin araştırılması. *GÜFBED/GUSTIJ* (2018) 8 (2), 230-238.
- Tosun, A., Süntar, İ., Keleş, H., Kiremit, H., Asakawa, Y., Akkol, E. 2016. Wound healing potential of selected liverworts growing in Turkey. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences* 13, 3, 285-291.
- Turner, B. L. 2008. Taxonomic status of *Clinopodium macrostemum* (Lamiaceae). *Phytologia* 90, 411-413.
- Ünal, O., Gökçeoğlu, M., Topcuoğlu, F.S. 2004. Investigations on seed germination and propagation of *Origanum* species endemic for Antalya. *Journal of Agricultural Faculty of Akdeniz University* 17(2), 135-147.
- Ünyayar, S., 1995. *Phanerochaete chrysosporium* ME446'da kültür periyoduna bağlı olarak indol-3-asetik asit (IAA), gibberellik asit (GA<sub>3</sub>), absisik asit (ABA) ve zeatin üretimi ve biyolojik aktivitelerinin tayini. İnönü Üniv. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi, p 163.
- Villa-Ruano, N., Pacheco-Hernandez, Y., Zurita- Vasquez, G., Betancourt-Jiménez, M.B., CruzDuran, R., Duque-Bautista, H. 2013. Antilipase and antioxidant properties of 30 medicinal plants used in Oaxaca México. *Biological Research* 46, 153-160.
- White P. 1963. The cultivation of animal and plant cells, Ronald Press, New York.
- Wurzburger, J., Leshem, Y. 1974. The role of gibberellin and the hulls in the control of germination in *Aegilos kotschy* Caryopses. *Canadian Journal of Botany* 52, 1597-1601.
- Yücel, E. 1996. A research on seed germination characteristics on *Sideritis germanicopolitana* Bornm. subsp. *germanicopolina* and *Sideritis germanicopolitana* Bornm. subsp. *viridis* Hausskn ex Bornm. Faculty of Science Journal of Anadolu University 2, 65-73.
- Zielinski, H., Frias, J., Piskula, M.K., Kozłowska, H. 2006. The effect of germination process on the superoxide dismutase-like activity and thiamine, riboflavin and mineral contents of rape seeds. *Food Chemistry* 99, 516-520.





# Bir Kafes Sistemli Yumurta Tavuğu Kümesinde Aydınlatma Yeterliliğinin Standartlara göre Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi: Bursa Örneği

Büşra Yaylı<sup>1\*</sup>, İlker Kılıç<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bursa, (ORCID: 0000-0002-0198-3550), [busrayayli@uludag.edu.tr](mailto:busrayayli@uludag.edu.tr)

<sup>2</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bursa, (ORCID: 0000-0003-0087-6718), [ikilic@uludag.edu.tr](mailto:ikilic@uludag.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 12 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008508)

**ATIF/REFERENCE:** Yaylı, B. & İlker, K. (2021). Bir Kafes Sistemli Yumurta Tavuğu Kümesinde Aydınlatma Yeterliliğinin Standartlara göre Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi: Bursa Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 475-480.

## Öz

Türkiye'de kümes hayvancılığı üretimi önemli bir hayvancılık koludur. Hayvan yetiştiriciliğinde hayvanların genetik kapasitesi %30 oranında etkili iken, çevresel etmenler %70 oranında etkilidir. Tavuklar buldukları çevre koşullarına karşı hassas hayvanlar olduğu için diğer türlere göre ışık, nem, sıcaklık vb. gibi koşullardan daha çabuk etkilenmektedirler. Kümes içerisinde yeterli düzeyde yapılan aydınlatma, tavukların fizyolojik fonksiyonlarını düzenler, yumurta kalitesini artırır ve davranışlarını olumlu yönde etkilemektedir. Yeterli aydınlatmanın olmaması tavuklarda huzursuzluk ve verim düşüklüğüne neden olmaktadır. Ayrıca kümeste çalışanlar için de aydınlatma düzeyinin kaza riski oluşturmayacak şekilde yeterli görsel yeterliliğin sağlanması gerekmektedir. Yapılan çalışmada, Bursa bölgesinde faaliyet gösteren bir yumurta tavuğu işletmesinin aydınlatma düzeyinin belirlenmesi ve standartlara göre değerlendirilmesi amaçlanmıştır. İncelenen işletmede, hem doğal aydınlatma hem de yapay aydınlatma yapılmaktadır. Doğal aydınlatma sisteminde kullanılan pencerelerin ve kapıların boyutları ölçülüp kümes taban alanına oranlanmıştır. Kümeste kullanılan yapay aydınlatma sisteminin ışık şiddeti hesabı ışık akısı yöntemiyle yapılmıştır. Bulgulara göre doğal aydınlatma sisteminin yeterli olduğu fakat günün karanlık saatlerinde rutin işlerin gerçekleştirilebilmesi için yapay aydınlatmaya ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. Kümeste kafes katlarına göre aydınlık şiddetleri I. katta (alt) 21.7 lx, II. katta 23.1 lx ve III. katta (üst) 23.1 lx olarak saptanmıştır. Kümeste mevcut aydınlatma gücü 2.4 W/m<sup>2</sup> olup gün boyunca 16 saat aydınlatma yapılmaktadır. Literatüre göre kıyaslandığında kümesteki aydınlatma düzeyinin yeterli olduğu söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Aydınlatma, Kümes, Hayvan refahı, Enerji tüketimi, İş güvenliği.

## Determination and Evaluation of Lighting Sufficiency in a Laying Hens House with Cage System According to Standards: Bursa Example

### Abstract

Poultry production is an important livestock animal in Turkey. In livestock production, the genetic capacity of animals is 30% effective and environmental factors are 70% effective. Chickens are sensitive animals to environmental conditions. Therefore, compared to other livestock species, light, humidity, temperature, etc. are more susceptible to such conditions. Sufficient lighting in the laying hens regulates the physiological functions of chickens, increases egg quality and affects their behavior positively. Otherwise, it causes discomfort and low productivity in laying hen. Moreover, it is necessary to ensure sufficient visual adequacy of the lighting level that will not create an accident risk for the workers in the hen house. This study aimed to determine the lighting level

\* Sorumlu Yazar: [busrayayli@uludag.edu.tr](mailto:busrayayli@uludag.edu.tr)

of a laying hen house operating in the Bursa region and evaluate it according to the standards. In the monitored farm in this study, both natural and artificial lighting are provided. The windows and doors dimensions used in the natural lighting system were measured and proportioned to the hen floor area. The light intensity calculation of the artificial lighting system used in the hen house was made by the light flux method. According to the findings, it was determined that the natural lighting system was sufficient, but needed artificial lighting was required to carry out routine works in the dark hours of the day. In the hen house, the lighting intensities of cage floors were determined 21.7 lx on the first floor (bottom), the second floor is 23.1 lx, and the third floor (top) is 23.1 lx. The current lighting power in the hen house is 2.4 W/m<sup>2</sup> and lighting is provided for 16 hours during the day. When compared with the literature, it can say that the hen house lighting level is sufficient.

**Keywords:** Lighting, Poultry, Animal welfare, Energy consumption, Occupational safety.

## 1. Giriş

Hayvan yetiştiriciliğinde genetik kapasitenin artırılması yönündeki çalışmaların yanı sıra barınak içerisindeki çevresel ve fiziksel faktörler de hayvanların sağlıklarının korunması ve verimliliklerinin artırılması için dikkate alınmalıdır. Hayvansal üretimin kaliteli ve verimlilik düzeyinde hayvan genotipi %30 etkiliyken, çevresel koşullar %70 oranında etkilidir (Olgun, 2016). Çevresel koşulların bozulduğu ya da dengesinin sağlanmadığı durumlarda barınaklardaki hayvanların da fizyolojik dengelerinin bozulmasına ve verimliliklerinin düşmesine neden olmaktadır. Aydınlatma da hayvanlar üzerinde önemli etkiye sahip fiziksel faktörlerden birisidir.

Aydınlatma, kümes hayvanlarının davranışlarını, sağlığını, üretkenlik performansını ve yumurta kalitesini etkilediği için fizyolojik fonksiyonlarının kontrol edilmesini sağlayan önemli bir çevresel faktördür (Barros ve ark., 2020). Tavuklar ışığa duyarlı, hassas hayvanlardır. Aydınlatma ile ışık uyarısı üreme sistemlerinin fizyolojisi üzerinde olumlu etki göstererek yumurta üretiminin devamlılığı için gerekli hormonların salgılanmasını tetiklemektedir (Etches, 1994; Verza ve ark., 2017).

Kümeslerde gündüz aydınlatmasının sağlanması için öncelikle doğal aydınlatmadan yararlanır. Ancak yetersiz olduğu durumlarda hayvanlar için en uygun koşulların sağlanabilmesi amacıyla yapay aydınlatmadan yararlanılmaktadır. Doğal aydınlatmada pencere alanlarının kümes taban alanına oranı iyi bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Kümeslerde, kümes taban alanının soğuk bölgelerde 1/20'si, ılık bölgelerde 1/10'u ve sıcak bölgelerde ise 1/5'i kadar toplam pencere alanı bırakılmalıdır (Olgun, 2016). Ayrıca, barınak içerisinde pencere alanlarının barınak taban alanına oranının soğuk bölgelerde %3.5, ılık bölgelerde %5 ve sıcak bölgelerde %10 olması önerilmektedir (Ekmekyapar, 1993).

Aydınlatma yapılırken aydınlatmanın kalitesini düşürmeden, enerji tasarrufu sağlayan ve daha verimli aydınlatma elemanları kullanılarak iyi bir aydınlatmanın şartları yerine getirilmelidir (Yılmaz ve Sungur, 2020). Kümeslerde yapay aydınlatma yapılması gereken koşullarda doğru ve yeknesak bir aydınlatma yapılması için ışığın kaynağı, dalga boyu, şiddeti, yoğunluğu, rengi, spektral dağılımı, aydınlatma süresi, lambaların mekânsal dağılımı vb. gibi birçok faktöre dikkat edilmesi gerekmektedir (Pereira ve ark., 2012). Kümeslerde aydınlatma amacıyla akkor ampüller, kompakt floresan lambalar (CFL), soğuk katot floresan lambalar (CCFL), ledler, tüp floresanlar, yüksek yoğunluklu deşarj lambalar (HID) ve yüksek basınçlı sodyum lambalar (HPS) gibi aydınlatma seçenekleri kullanılabilir (Harmon ve Petersen, 2011). Ekmekyapar'a (1993) göre kümeslerde kümesin taban alanının her 20 m<sup>2</sup>'si için en az 40 W'lık lambalar kullanılmalıdır.

Yumurtacı Tavukların Korunması İle İlgili Asgari Standartlara İlişkin Yönetmeliğe göre tavukların birbirlerini görmelerine, açıkça etraflarını araştırabilmelerine ve doğal davranışlarını gerçekleştirebilecek imkân sağlayacak yeterlilikte aydınlatma seviyesi sağlanmalıdır (Yumurtacı Tavukların Korunması İle İlgili Asgari Standartlara İlişkin Yönetmelik, 2014). Yönetmelikte önerilen belirli bir aydınlatma şiddeti yer almamaktadır. Fakat günün aydınlatma saatleri 24 saatlik bir ritmi takip etmeli ve bir günün 8 saatinden az olmayacak şekilde devamlı bir karanlık periyot sağlanması gerektiği belirtilmektedir.

Kümeslerde hayvanların refahı açısından da Çiftlik Hayvanlarının Refahına İlişkin Genel Hükümler Hakkında Yönetmeliğe göre fizyolojik ve etolojik ihtiyaçlarının karşılanması için doğal aydınlatma yetersiz ise ve yapay aydınlatma yapılacaksa doğal ışık süresine eşdeğer süre için uygun 8 saatlik aydınlatma sağlanması gerekmektedir (Çiftlik Hayvanlarının Refahına İlişkin Genel Hükümler Hakkında Yönetmelik, 2014).

Barınaklar içerisinde hayvanların verimli ve sağlıklı yetiştirilebilmeleri için ortam koşullarının önemli olmasının yanı sıra çalışan insanların da güvenli ve sağlıklı bir ortamda çalışmaları çok önemli bir konudur. Kümes hayvanı yetiştiriciliğinde eğer gerekli önlemler alınmazsa çalışanlarda bazı sağlık problemleri ortaya çıkabilmektedir ve bunların önlenmesi için kümeslerde yeterli aydınlatma sağlanmalıdır (Demirhan ve ark., 2016).

İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmeliğe göre işyerlerinde gün ışığıyla yeterli düzeyde aydınlatılmış olması esas alınmaktadır. Gün ışığının yetersiz geldiği ya da gece çalışma durumlarında, yapay aydınlatmanın en uygun şekilde sağlanması gereklidir ve bunun için TS EN 12464-1: 2013, TS EN 12464-1:2011: 2012; standartları esas alınmaktadır (İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik, 2013).

Bu çalışmada, Bursa bölgesinde faaliyet gösteren bir yumurta tavuğu kümesinin aydınlatma düzeyinin belirlenmesi ve aydınlatma verimliliğinin çeşitli standart ve yönetmelikler ile karşılaştırılması ve değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

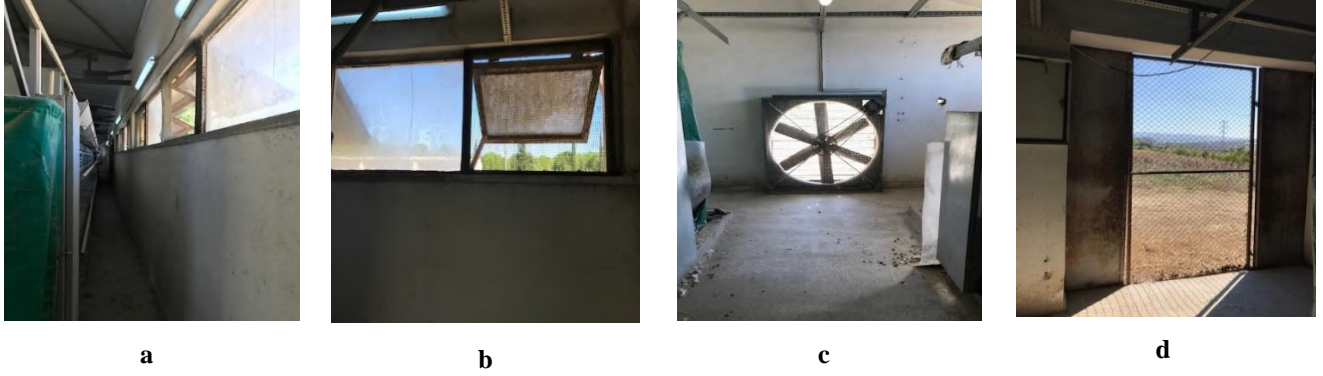
Çalışmada Bursa bölgesinde faaliyet gösteren ticari bir kafes sistemli yumurta tavuğu kümesinin aydınlık düzeyinin yeterliliği, tavukların refahı ve iş sağlığı güvenliği esasları çerçevesinde incelenmiştir. Kümeste hem doğal aydınlatma hem de yapay aydınlatma yapılmaktadır. Kümeste doğal aydınlatma her her iki uzun kenarda bulunan 4 adet toplamda 8 adet pencere

ile yapılmaktadır. Ayrıca işletme içerisinde kümesin sonunda bulunan iki adet havalandırma fanı ve sürekli açık duran bir kapısı bulunmaktadır. Bunlar da doğal aydınlatmayı desteklediği için hesaplamalarda bu açıklıklar da dikkate alınmıştır (Şekil 1).

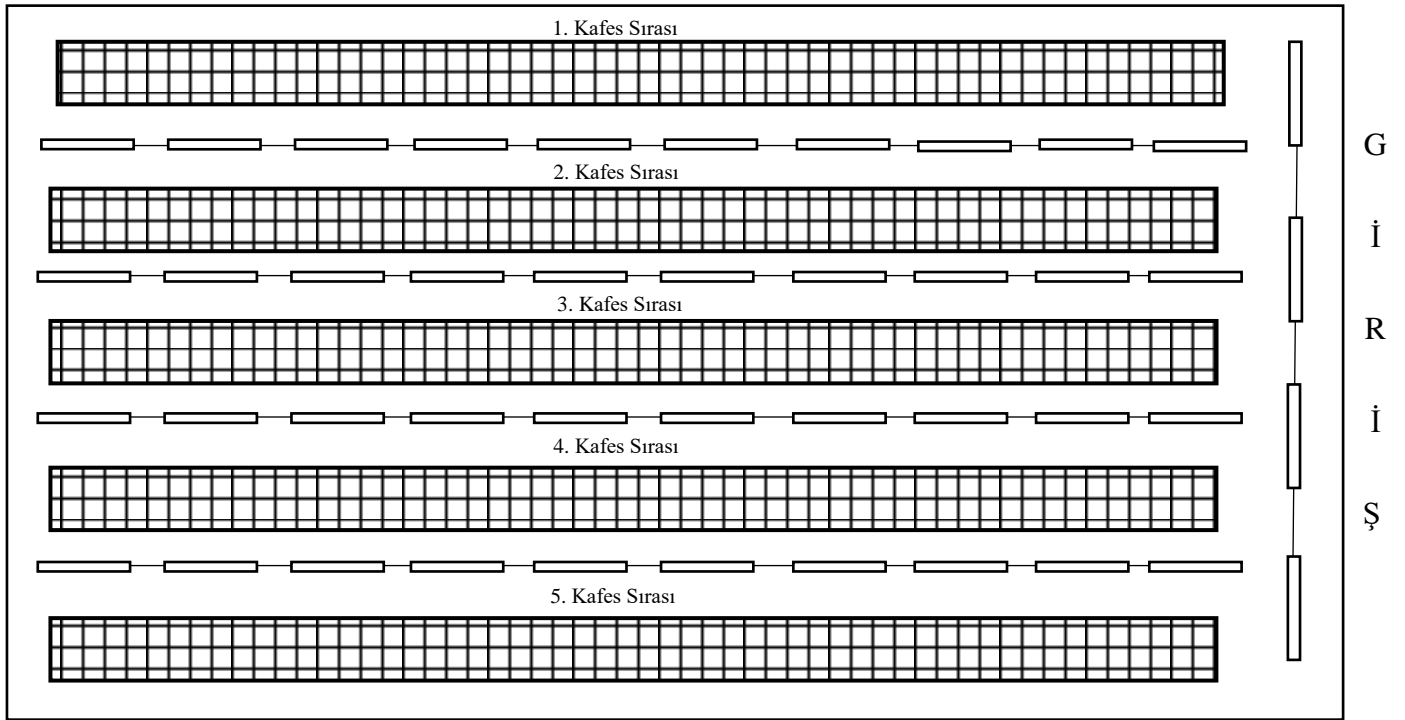
Kümes 360 m<sup>2</sup>'lik alana sahiptir ve 5 kafes sırası ile 4 koridor bulunmaktadır (Şekil 2). Her bir koridorda 10 adet, kümes girişinde ise 4 adet toplamda 44 adet bulunan Led floresan ile aydınlatma yapılmaktadır. Led lambaların kümes

içerisindeki yerleşimleri Şekil 2'de verilmiştir. Floresanların her biri 20 W gücündedir. Sabah 6.30'dan akşam 10:30'a kadar devamlı aydınlatma yapılarak günde 16 saat yapay aydınlatma yapılmaktadır.

Kümeşte doğal aydınlatma hesaplaması kullanılan pencere ve kapıların kümes taban alanına oranlanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Yapay aydınlatma sisteminde ışık şiddeti ve aydınlatma gücü ise ışık akısı yöntemiyle hesaplanmıştır.



Şekil 1. İncelenen kümeşte doğal aydınlatma için kullanılan açıklıklar (a,b: pencere, c: havalandırma fanı, d: kapı)



Şekil 2. İşletmede lambaların yerleşim planı

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Aydınlatma Sisteminin Özellikleri

Araştırmanın gerçekleştirildiği kümes içerisinde doğal aydınlatma, kümes boyunca karşılıklı olarak yer alan 5.4 x 0.75 m boyutlarındaki toplamda 8 adet pencere ile sağlanmaktadır. Pencereler kümes tabanından 1.75 m yükseklikte bulunmaktadır.

Ayrıca iki adet 0.68 m çapında havalandırma fanı ve 1.34 x 2.6 boyutlarındaki kapı alanları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1'e göre kümeşteki açıklık alanlarının kümes taban alanına oranı yaklaşık %11'dir. Bu değer literatür ile karşılaştırıldığında doğal aydınlatma gündüz vakti kümeşteki gündelik işlerin yapılabilmesi için yeterlidir. Ancak günün karanlık saatlerinde kümeşteki rutin işlerin yürütülebilmesi için yapay aydınlatmaya da gereksinim duyulmaktadır. Kümeslerde

doğal aydınlatma yapılırken pencere alanlarının yetersiz kalması tavukların fizyolojik faaliyetlerini olumsuz etkilemekte ve verim kaybına neden olmaktadır. Pencere alanlarının gereğinden fazla

olması durumunda ise kış mevsiminde ısı kayıpları daha fazla olacağından ısı dengesinin oluşturmasını zorlaştıracaktır (Kocaman, 2010).

Tablo 1. İşletme içerisindeki aydınlatma açıklıklarının boyutları

Toplam pencere alanı (m <sup>2</sup> )	Kapı alanı (m <sup>2</sup> )	Toplam fan alanı (m <sup>2</sup> )	Toplam açıklık alanı (m <sup>2</sup> )	Kümes taban alanı (m <sup>2</sup> )	Açıklık/Kümes taban alan oranı
32.4	3.48	2.9	38.78	360	1/9

### 3.2. Hayvan Refahı Açısından Aydınlatma

Çalışmanın gerçekleştirildiği işletmede kafes sıraları 3 katlıdır ve kümeste yapılan yapay aydınlatma sistemine ait görüntüler Şekil 3'te verilmiştir. Her bir kat için lambaların aydınlatma verimleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Buna göre en alt katta aydınlatma verimi %49.3, orta katta %52.5 ve en üst katta %53 olarak hesaplanmıştır. Kümeste yapılan mevcut aydınlatma gücü 2.4 W/m<sup>2</sup>'dir (Tablo 2). Literatürde yumurta tavuğu kümesleri için yapay aydınlatmada 2-3 W/m<sup>2</sup> olarak önerilmektedir (Şenköylü, 2001; Kocaman, 2010). Kümesteki yapay aydınlatma değeri önerilen değerler arasında kalmaktadır. İşletme içerisinde bulunan mevcut aydınlatıcı sayısı 44 adettir. Işık akısı yöntemiyle yapılan hesaplamalara göre bu işletmede

40 adet lamba ile yapılacak aydınlatma da yeterli olabileceği hesaplanmıştır. Aydınlatmanın tavuklar üzerinde verim üzerine yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Tavuklarda yüksek aydınlatma seviyeleri hayvanlarda hareketliliği, gagalama ve kanibalizmi artırmasının yanı sıra aktivitenin artmasıyla ortamdaki tozluğun da artması verim düşüklüğüne neden olabilmektedir (Kristensen ve ark., 2006). Yumurtacı Tavukların Korunması İle İlgili Asgari Standartlara İlişkin Yönetmeliğe göre kümeste yapılan 16 saatlik aydınlatma ardından 8 saatlik devamlı karanlık periyodu gerçekleştirerek yumurtacı tavukların aydınlıktan korunması sağlanmaktadır. Çiftlik Hayvanlarının Refahına İlişkin Genel Hükümler Hakkındaki Yönetmeliğe göre en az 8 saat aydınlatması yapılması hayvan refahını koruması açısından da koşulları sağlamaktadır.

Tablo 2. Kümes ile ilgili yapay aydınlatma bilgileri

Kafes Katları	Aydınlatma verimi (%)	Mevcut aydınlık şiddeti (lx)	Gerekli aydınlatıcı sayısı (20 W'lık)	Mevcut aydınlatma gücü (W/m <sup>2</sup> )
I	49.3	21.7	40	2.4
II	52.5	23.1	40	2.4
III	53.0	23.1	40	2.4

I: 1.kat (alt), II: 2. Kat, III: 3. kat (üst)



Şekil 3. İncelenen kümes içerisindeki yapay aydınlatma görüntüleri



### 3.3. Standartlara Göre Aydınlatma Sistemleri

Ülkemizde standartları belirleyen kuruluş olan Türk Standartları Enstitüsü endüstriyel faaliyetler için aydınlatma standartlarını belirlemiştir. TS EN 12464-1 Işık ve Aydınlatma - Çalışma Yerlerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Çalışma Alanları (Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places) standardına göre endüstriyel faaliyetler içerisinde tarım sektörü kapalı çalışma ortamları için bazı değerler yer almaktadır (TS EN 12464-1, 2013) (Tablo 3). Standart maddelerine göre hayvan barınakları canlı hayvanlar için binalar başlığı altına girmektedir. Bu başlığa göre hayvanlar için gerekli aydınlatma şiddeti 50 lx olarak verilmiştir. İncelenen işletmede uygulanan aydınlatma şiddeti 23 lx olarak

Tablo 3. TS EN 12464-1 tarım faaliyetlerine göre aydınlatma özellikleri

İç kısım, İş veya Faaliyet Tipi	$E_m$ (lx)	UGR <sub>L</sub>	$U_o$	$R_a$
Ürünlerin yüklenmesi ve çalıştırılması, kullanma tesisatı ve düzeneği	200	25	0.40	80
Canlı hayvanlar için binalar	50	-	0.40	40
Hasta hayvan kafesleri; yavrulama ahırları	200	25	0.60	80
Besin hazırlama; mandıra; kap yıkama	200	25	0.60	80

$E_m$ : İş veya faaliyet için referans yüzeydeki sürdürülen ortalama aydınlatma yoğunluğu

UGR<sub>L</sub>: Birleşik Göz Kamaşması Değer Sınırı

$U_o$ : Minimum aydınlatma homojenliği

$R_a$ : renksel geri verim

Amerika Birleşik Devletlerinde ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers), tarımsal faaliyetlerdeki aydınlatma sistemleri için standartlar belirlemiştir. Tablo 4'te kümes hayvanları için büyüme dönemlerine göre aydınlatma kılavuzu verilmiştir (ASABE, 2005). İncelenen kümesteki yumurta tavukları 48 haftalıktır ve buna göre ASABE standartlarına göre minimum 5-10 lx arasında aydınlatma yapılması gereklidir. İşletmede en alt kat için aydınlatma şiddeti 17.3 lx, orta kat için 18.3 lx ve en üst kat için 19.1 lx olarak ölçülmüştür. Standartlara göre işletme içerisinde yapılan aydınlatma şiddeti minimum değerlerin biraz üzerindedir. Ayrıca Tablo 4'e göre gün içerisinde yapılan 15 saatlik aydınlatma yeterli iken işletmede 16 saat aydınlatma yapılmaktadır. Buradan kümes içerisinde yapılan aydınlatmanın gereğinden fazla enerji tüketimine neden olduğu söylenebilmektedir.

Tablo 4. ASABE standartları (ASABE, 2005)

Kümes hayvanı türü	Yaş (Hafta)	Minimum Işık Şiddeti (lx)	Fotoperiyot (saat/gün)
Yumurta Tavuğu	0-6	10-30	16
	6-18	5-10	8
	18-80	5-10	15
Broylar	0-2.5	20-30	24
	2.5-kesim	5-10	24
Damızlık	0-3	30-50	14
	4-20	30-50	8
	20-64	30-50	15

### 3.4. İş Sağlığı Güvenliği Açısından Aydınlatma

Aydınlatma düzeyi, çalışan insanlar için tehlikeleri fark edebilmesi ve görsel yetersizliğe bağlı kazaların olmaması için iş ortamında yeterli düzeyde olmalı ve ortamda homojen bir şekilde dağılması gerekmektedir. Aksi takdirde aydınlatma

gerçekleştiğinden dolayı belirtilen sınır değerinin altında gerçekleşmiştir. Bu durumda incelenen işletmenin aydınlatma sistemi TSE EN 12464-1 standardını sağlamamaktadır.

Avrupa Birliğine katılan ülkelerde uygulanan aydınlatma yönetmeliği EN standardıdır. Bu standart ülkemizde uygulanan TSE EN 12464-1 standardı ile benzerdir. Avrupa Birliği'ne katılım sürecinde açılan başlıklardan biri olması nedeniyle bu yönetmelik Türkçeye çevrilerek doğrudan ülkemizde uygulanmaktadır.

yoğunluklarındaki büyük değişiklikler çalışanlarda görsel rahatsızlıklara ve strese neden olabilmektedir. TS EN 12464-1 standardına göre yakın çevreleyen alanların aydınlatma yoğunluğu iş alanının aydınlatma yoğunluğuyla ilişkili olmalı ve görüş sahasında iyi dengelenmiş bir ışık yoğunluğu dağılımı sağlamalıdır. Yakın çevreleyen alan görüş alanındaki iş alanının etrafında en az 0.5 m genişliğinde bir bant olmalıdır (TS EN 12464-1, 2013). İncelenen işletmede çalışanlar için bu mesafe sağlanmaktadır fakat Tablo 5'teki değerler ile kıyaslandığında işletmedeki aydınlık şiddeti yetersiz kalmaktadır.

Tablo 5. TS EN 12464-2 tarım faaliyetlerine göre aydınlatma özellikleri (TS EN 12464-2, 2014)

İş veya Faaliyet Tipi	$E_m$ (lx)	$U_o$	$R_{GL}$	$R_a$
Çiftlik alanı	20	0.10	55	20
Ekipman odası (açık)	50	0.20	55	20
Hayvan durakları	50	0.20	50	40

$E_m$ : İş veya faaliyet için referans yüzeydeki sürdürülen ortalama aydınlatma yoğunluğu

$R_{GL}$ : Parlama derecesi sınırı

$U_o$ : Minimum aydınlatma homojenliği

$R_a$ : renksel geri verim

### 3.5. Aydınlatma Sisteminin Enerji Tüketimi

Bu kapsamda işletme içerisinde enerji tüketiminin işletme ölçeğinde yeterli olduğu söylenebilir. Aydınlatma kümeslerde enerji tüketimini azaltmada önemli bir faktördür ve kanatlı üretim sistemlerinde yemden sonra en kritik ikinci girdiyi oluşturmaktadır (Pereira ve ark., 2012). Yapılan bir çalışmada, kümeste kış döneminde 40 gün boyunca tüketilen toplam enerjinin %55'inin aydınlatma sisteminden kaynaklandığını belirtilmiştir (Turco ve ark., 2002). LED ampullerin enerji tüketimlerinin düşük olması, yüksek aydınlatma verimine sahip olması ve arızalanma oranlarının düşük ve bakım maliyetlerinin düşük olmasıyla iyi bir alternatiftir.

## 4.Sonuç

Bu çalışmada, bir yumurta tavuğu kümesi içerisinde kurulu olan aydınlatma sisteminin yeterliliği üzerinde durulmaya çalışılmıştır. Ayrıca aydınlatmanın hem hayvanlar hem de insanlar üzerindeki etkileri belirli standartlar dikkate alınarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Aydınlatma, kümes içerisinde dikkate alınması gereken ilk etmenlerden birisidir. Yumurta oluşumu için ciddi bir rolü vardır. Yumurta veriminin yanı sıra tavukların fizyolojik gelişimleri açısından da önemlidir. Aydınlatma iş kazalarının en aza indirilebilmesi açısından çalışanlar için de optimum düzeyde olması istenir ve ayrıca işçilerde zamanla görsel rahatsızlıklara neden olmaması için önemli bir çevresel faktördür. İşletmelerin kurulması sırasında doğal aydınlatma ve yapay aydınlatma için literatür ve standartlarda verilen oran ve değerlerin dikkate alınarak, yeterli boyutlarda pencere, uygun sayıda armatür ve aydınlatma süresi seçilerek hem yeknesak bir aydınlık sağlanması hem de enerji tüketiminden tasarruf edilmesi önerilmektedir.

## Kaynakça

- ASABE, (2005). American Society of Agricultural and Biological Engineers, Lighting Systems for Agricultural Facilities.
- Çiftlik Hayvanlarının Refahına İlişkin Genel Hükümler Hakkında Yönetmelik, (2014). İkinci Bölüm, İşletmeler ve işletme içi düzenlemeler. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/11/20141122-6.htm> (Erişim Tarihi:24.09.2021).
- Demirhan, S. A., Çelen, B., Çelen, M. F., & Şahinler, N. (2016). Hayvancılıkta İş Sağlığı ve Güvenliği. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5, 303-314. <http://dx.doi.org/10.17100/nevbittek.211015>
- Ekmekyapar, T., (1993). *Hayvan Barınaklarında Çevre Koşullarının Düzenlenmesi*, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 306, Erzurum.
- Etches, R. J. (1994). *Estímulo luminoso na reprodução In: Pinheiro, M.R. Fisiologia da Reprodução de Aves* pp. 59-75.
- Barros J. D. S. G., Barros, T. A. D. S., Sartor, K., Raimundo, J. A., & Rossi, L. A. (2020). The effect of linear lighting systems on the productive performance and egg quality of laying hens. *Poultry science*, 99(3), 1369-1378. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.007>
- Harmon, J. D. & Petersen, D. (2011). "Farm Energy: Indoor lighting for livestock, poultry, and farm shop facilities" Agriculture and Environment Extension Publications. 32. [https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1024&context=extension\\_ag\\_pubs](https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1024&context=extension_ag_pubs) (Erişim tarihi: 24.09.2021)
- İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik, (2013). Ek-1: işyeri bina ve eklentilerinde uygulanacak asgari sağlık ve güvenlik şartları, Aydınlatma. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/07/20130717-2.htm> (Erişim Tarihi: 24.09.2021).
- Kocaman, İ. (2010). Karaman ili merkez ilçedeki yumurta tavuğu kümeslerinin yapısal özelliklerinin belirlenmesi ve geliştirilebilir olanaklarının araştırılması. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(2), 179-186.
- Kristensen, H.H., Aerts, J.M., Leroy, T., Wathes, C.M. & Berckmans, D. (2006). Modelling the dynamic activity of broiler chickens in response to step-wise changes in light

- intensity. *Applied Animal Behaviour Science*, 101(1-2): 125-143. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.01.007>
- Olgun, M. (2016). *Tarım Yapılar*. Ankara Üniversitesi Yayınları, Yayın No:1577, Üçüncü Baskı. Ankara.
- Pereira, P. A., Yanagi Junior, T., Silva, J. P. D., Lima, R. R. D., Campos, A. T., & Abreu, L. H. (2012). Technical evaluation of artificial lighting systems for broiler houses. *Engenharia Agrícola*, 32, 1011-1024. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000600002>
- Şenköylü, N., (2001). *Modern Tavuk Üretimi*. Trakya Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:47, Ders Notu No: 40, Tekirdağ. 358 s.
- TS EN 12464-1, (2013). Türk Standartları Enstitüsü, Işık ve Aydınlatma - Çalışma Yerlerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Çalışma Alanları.
- TS EN 12464-2, (2014). Türk Standartları Enstitüsü, Işık ve aydınlatma - İş yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 2: Bina dışı iş yerleri.
- Turco, J. E., Ferreira, L. F. & Furlan, R. L. (2002). Consumo e custo de energia elétrica em equipamentos utilizados em galpão de frangos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6, 519-522. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000300023>
- Verza, S. P., Peixoto, E. C. T. M., Tamehiro, C. Y., Hasegawa, M. M., Porto, P. P., & da Silva, M. A. A. (2017). LED in production systems of laying hens: An alternative to increase sustainability. *African Journal of Agricultural Research*, 12(16), 1379-1384. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11946>
- Yılmaz, S. & Sungur, C. (2020). Kamu Binalarında Mevcut Aydınlatma Elemanlarının LED Aydınlatma Elemanlarına Dönüştürülmesi ile Elde Edilecek Elektrik Enerjisi Tasarrufunun Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 214-218. <https://doi.org/10.31590/ejosat.804281>
- Yumurtacı Tavukların Korunması İle İlgili Asgari Standartlara İlişkin Yönetmelik, (2014). Üçüncü Bölüm, Aydınlatma. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/11/20141122-7.htm> (Erişim Tarihi: 24.09.2021).



# Investigation of the Use of Activated Peach Kernel in Cr(VI) Adsorption from Aqueous Solution

Hüdaverdi Arslan<sup>1\*</sup>, Nusret Çalışkan<sup>2</sup>, Melis Gün<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Environmental, Mersin, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3053-6944), [harslan@mersin.edu.tr](mailto:harslan@mersin.edu.tr)

<sup>2</sup> Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Environmental, Mersin, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4061-5846), [caliskannusret27@gmail.com](mailto:caliskannusret27@gmail.com)

<sup>3</sup> Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Environmental, Mersin, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7982-6013), [melis.gun.38@gmail.com](mailto:melis.gun.38@gmail.com)

(First received 13 October 2021 and in final form 10 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008706)

**ATIF/REFERENCE:** Arslan, H., Çalışkan, N., & Gün, M. (2021). Investigation of the Uses of Activated Peach Kernel in Cr(VI) Removal from Water Solution. *European Journal of Science and Technology*, (31), 481-486.

## Abstract

Heavy metals're threats to aquatic ecosystems. Heavy metal-containing wastewater causes environmental pollution as a result of reaching the aquatic ecosystem after being used by industries. In this study, the use of activated peach kernel (APK) as a bioadsorbent and its use in Cr(VI) adsorption from aqueous solution were investigated. Thus, it's aimed to increase the economic value of these materials, which have low economic value, by investigating the possibilities of using them as bioadsorbent. Other hand, it's aimed to contribute to the protection of both the aquatic environment and human health, and thus to the prevention of environmental pollution, by removing heavy metals. In the study, synthetically wastewater containing Cr(VI) was used. Atomic Adsorption Spectrophotometer (AAS), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Brunauer-Emmett-Teller Isotherm Model (BET) and Scanning Electron Microscope (SEM) were used to determine the Cr(VI) concentration and characterization of the adsorbent. From the adsorption processes performed after the activation processes, the yield with APK was 93%. In the study, maximum efficiency was reached at pH 2, 0.5 g adsorbent amount and 5 hours retention time under optimum conditions. It was observed that 0.738 mg.g<sup>-1</sup> removal capacity per unit adsorbent was obtained with 0.5 g APK under optimum conditions. It was found to be suitable for the Langmuir isotherm model, which is one of the adsorption isotherm models. In the kinetic evaluation of the reaction, it was concluded that it was suitable for pseudo-second-order kinetics. All results demonstrated the usability of APK in Cr(VI) removal, especially due to activation process.

**Keywords:** Cr(VI), Peach kernel, Adsorption, Bioadsorbents, Langmuir

## Aktifleştirilmiş Şeftali Çekirdeğinin Sulu Çözeltiden Cr(VI) Adsorpsiyonunda Kullanımının Araştırılması

### Öz

Ağır metaller, çevresel açıdan su ekosistemlerine yönelik tehditlerden biridir. Ağır metal içeren atıksular endüstriler tarafından kullanıldıktan sonra sucul ekosisteme ulaşması sonucunda çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu çalışmada aktifleştirilmiş şeftali çekirdeğinin (APK) biyoadsorbent olarak kullanımı ve sulu çözeltiden Cr(VI) adsorpsiyonunda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Böylece ekonomik değeri düşük olan bu malzemelerin biyoadsorbent olarak kullanım olanakları araştırılarak ekonomik değerlerinin artırılması amaçlanmıştır. Öte yandan, sucul ekosistemlerde kirlenici tehditler olan ağır metallerin bu malzemelerle giderilerek hem sucul ortamın hem de insan sağlığının korunmasına ve dolayısıyla çevre kirliliğinin önlenmesine katkı sağlanması hedeflenmektedir. Çalışmada Cr(VI) içeren sentetik atıksu kullanılmıştır. Adsorbentin Cr(VI) konsantrasyonunu ve karakterizasyonunu belirlemek için Atomik Adsorpsiyon Spektrofotometresi (AAS), Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR), Brunauer-Emmett-Teller İzoterm Modeli (BET) ve Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) kullanılmıştır. Aktivasyon işlemlerinden sonra gerçekleştirilen adsorpsiyon işlemlerinden APK ile verimi %93 olmuştur. Çalışmada optimum koşullar altında pH 2, 0.5 g adsorbent miktarı ve 5 saat alıkonma süresinde maksimum verime ulaşılmıştır. Optimum koşullar altında 0.5 g APK ile birim adsorbent başına 0,738 mg.g<sup>-1</sup> kaldırma kapasitesi elde edildiği gözlemlenmiştir. Adsorpsiyon izoterm modellerinden Langmuir izoterm modeline uygun olduğu görülmüştür. Reaksiyonun kinetik değerlendirilmesinde yalancı ikinci dereceden hız kinetiğine uyduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tüm sonuçlar, özellikle aktivasyon süreci nedeniyle, Cr(VI) gideriminde APK'nin kullanılabilirliğini ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Cr(VI), Şeftali çekirdeği, Adsorpsiyon, Bioadsorbent, Langmuir

\* Corresponding Author: [harslan@mersin.edu.tr](mailto:harslan@mersin.edu.tr)

## 1. Introduction

A wide variety of chemical pollutants released as a result of industrial and agricultural activities have become an important issue affecting environmental safety. People are exposed to several pollutants accumulated in the environment because of such activities. One of the pollutions affecting environmental systems is water pollution. Hazardous and other wastes from industries are discharged directly or indirectly to water resources (Shouli, ve diğerleri, 2010) (Gupta, Rastogi, & Nayak, 2010) (Gupta & Rastogi, 2009a) (Gupta, Goyal, & Sharma, 2009b). Heavy metals are naturally occurring elements with atomic weight and density at least 5 times higher than the water atom (Tchounwou, Yedjou, Patlolla, & Sutton, 2012). It causes the distribution of heavy metals in large areas in the environment, originating from many industrial, domestic, agricultural, medical, and technology applications.

Considering the effects of heavy metal pollution on human health and the environment, it is seen that the toxicity effect increases according to the exposure time. Considering the factors causing the toxicity effect, it is seen that various factors such as dose, exposure route, and chemical species as well as age, gender, genetics, and nutritional status of the exposed persons are effective. Due to their high toxicity, arsenic, cadmium, chromium, lead, and mercury are among the priority heavy metals that are important for public health. These metallic elements appear to cause multiple organ damage even at lower exposure levels (Bradl, 2002). They are also classified as human carcinogens (known or probable) according to the US Environmental Protection Agency (EPA) and the International Agency for Research on Cancer (IARC) (Tchounwou, Yedjou, Patlolla, & Sutton, 2012).

Chromium is released into the environment not only from natural sources but also as a result of human activities. The main source of chromium pollution is mining; however, it also appears in various industries such as cement ceramics, glass industries, paint industry, zinc coating industries, production of steel and other metal alloys, photographic material, and rust-removing paints (Rana, N., & Rajagopal, 2004) (Rutland, 1991). Although Cr (III) is non-toxic or less toxic than Cr(VI), prolonged exposure to trivalent chromium is known to cause allergic skin reactions (Gupta & Rastogi, 2009a). Since Cr(VI) is toxic and carcinogenic, it must be treated before being discharged to wastewater (JParga, ve diğerleri, 2005). Conventional methods such as membrane filtration (Fu & QiWang, 2011), chemical precipitation (Ku & Jung, 2001), ion exchange (Kang, Le, Moon, & Kim, 2004), and adsorption (Fu & QiWang, 2011) are using to remove chromium from wastewater.

Although various treatment methods are using for the removal of Cr(VI), heavy metal removal is possible by using the adsorption method, which is another advanced treatment method. The adsorption method is acceptable as an effective and economical method for heavy metal wastewater treatment. The adsorption method is a simple method to use and an effective method for heavy metal removal. Adsorption processes can be reversible in some cases, in which case the adsorbents can be regenerated by appropriate desorption processes (Fu & QiWang, 2011).

The most important disadvantage of using the adsorption method for chrome removal from wastewater is the high

production cost of adsorbents. Instead of using adsorbents with high production costs, it is possible to reduce costs by using naturally obtained and usable natural adsorbents (Gupta, Ali, Saleh, Siddiqui, & Agarwal, 2013).

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

Peach kernels were used in the study. The peach kernel was taken from the juice processing factory. The core pulp in the peach kernel was separated and the hard part outside was used in the experiments.

### 2.2. Methods

#### 2.2.1. Preparation of the Adsorbent

The adsorbents used during the experiments were first washed with distilled water and the dust and unknown substances in it were cleaned and then dried in an oven at 105 °C for 24 hours. The dried adsorbent was grinded to the desired size and then sieved with a 35-mesh sieve gap.

1 M Hydrochloric Acid (HCl) solution was prepared for the activation of adsorbents. 10 g adsorbent was added to the prepared HCl solution, and the solution was mixed at 150 rpm for 24 hours. The adsorbents taken from the shaker were filtered with filter papers and dried in an oven at 105 °C for 24 hours. After the processes, adsorption experiments were performed with activated peach kernel (APK).

#### 2.2.2. Preparation of Stock Solutions

Chromium, a heavy metal, was prepared by dissolving Sigma-Aldrich brand  $K_2Cr_2O_7$  of distilled water for a stock solution. The stock solution was stored at room conditions throughout the experiments and the desired concentrations were prepared using this stock solution.

#### 2.2.3. Characterization of Adsorbent

In adsorption experiments, ISOLAB precision balance was used to adjust the weighing amounts; Stuart biolab orbital shaker was used to mix the solutions at 150 rpm. ISOLAB pH meter was used to determine the acid-base degree, Heraeus Brand T-12 Model oven was used to dry the samples, and Perkin Elmer A Analyst 200 model Atomic Adsorption Spectrophotometer was used to measure the amount of chromium in the samples.

SEM and BET analyzes to examine the surface morphology of the adsorbents and to look at the adsorbent capacity before and after the adsorption experiments; FTIR analyzes were applied to determine the infrared spectra generated during the experiment (Saleh, Yalvaç, Arslan, & Gün, 2019).

#### 2.2.4. Adsorption Study

pH optimization, initial Cr(VI) concentration, adsorbent dosage, and time optimizations were made for Cr(VI) removal from an aqueous solution. During the experiments, a volume of 100 ml was used and mixed at a constant stirring speed of 150 rpm in 250 ml beakers in case of overflow. In the experiments, 0.1 M HCl and 0.1 M NaOH were used for pH adjustments. As a result of the measurements, efficiency, and adsorbent capacity (qe) calculations are shown in Equations 1 and 2 (Shakoor & Nasar, 2018).



$$\text{Efficiency } \% = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100 \quad \text{Equation 1}$$

$$q_e = \frac{(C_i - C_f) \times V}{m} \quad \text{Equation 2}$$

Where,  $C_i$  is the initial concentration ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) of the Cr(VI);  $C_f$  is the Cr(VI) final concentration ( $\text{mg.L}^{-1}$ );  $V$  solution volume (L);  $m$  adsorbent mass (g).

### 2.2.5. Adsorption Isotherm

Adsorption isotherms are the set of parameters applied to understand the adsorption mechanisms (Ho & McKay, 1999). Commonly used isotherms are Freundlich and Langmuir equations (Sawyer & P.L., 1978). According to the Langmuir isotherm (Equation 3), the energy level on the adsorbent surface is the same everywhere. The film formed by holding the atoms or molecules by active centers on the adsorbent surface is considered mono film (Filiz, 2007). The Freundlich isotherm (Equation 4) is a type of reversible adsorption that occurs physically on a heterogeneous surface. It is used in multi-layer systems where the adsorption heat and affinity are not evenly distributed on the heterogeneous surface (Benefield, Judkins, & B.L., 1982).

$$\frac{C_A}{q_A} = \frac{1}{b_A q_m} + \frac{C_A}{q_m} \quad \text{Equation 3}$$

$$\log(q_A) = \log(K_A) + \left(\frac{1}{n}\right) \log(C_A) \quad \text{Equation 4}$$

Where  $C_A$  is the concentration of adsorbate A at the equilibrium ( $\text{mg.L}^{-1}$ ).  $b_A$  is the Langmuir constant for the adsorbate A ( $\text{L.mg}^{-1}$ ).  $q_m$  maximum adsorbent capacity at saturation ( $\text{mg.g}^{-1}$ ).  $K_A$  is the Freundlich adsorption capacity parameter ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) ( $\text{L.mg}^{-1}$ ).  $1/n$  is the intensity parameter.

### 2.2.6. Adsorption Kinetics

Adsorption kinetics is used to determine the time required for adsorption equilibrium to occur. Many kinetic models have been developed to detect the chemical reaction and mass transfer of adsorption. The pseudo-first-order kinetic model predicted by Lagergren (Pseudo-first-order kinetic model) (Equation 5) and the pseudo-second-order kinetic model predicted by Ho (Pseudo second-order kinetic model) (Equation 6) is the most common kinetic models (Metcalf & H.P., 2003) (Tosun, 2009) (Kocabaş, 2015).

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{K_1}{2.303} t \quad \text{Equation 5}$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad \text{Equation 6}$$

In the equations,  $q_e$  is the amount of adsorbed material in equilibrium;  $q_t$ , is the amount of adsorbed material at the end of time  $t$ ;  $K_1$  represents the first-order rate constant ( $\text{min}^{-1}$ ) of adsorption and  $K_2$  shows the false second-order rate constant ( $\text{g.mg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ).

## 3. Results and discussion

### 3.1. Adsorbent characterization

In this study, characterization was carried out to understand the properties of the adsorbent. According to the SEM results, it can be considered that the adsorbent surface is heterogeneous. SEM images of the APK structure before and after the

adsorption process are shown in the photos below. Figure 1.a raw APK, b shows APK after adsorption, while APK is shown.

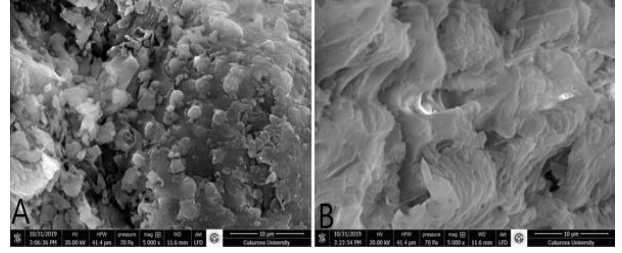


Figure 1. a) SEM for APK before adsorption b) SEM for APK after adsorption

Şekil 1. a) APK adsorpsiyon öncesi SEM görüntüsü b) APK adsorpsiyon sonrası SEM görüntüsü

The surface area of the adsorbent was determined by BET analysis. Before the adsorption process, the BET surface area and Langmuir surface area for the adsorbent were  $2.02 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$  and  $3.29 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ . This value is approximately equal to the surface area of the Xanthium Italicum plant (Saleh, Yalvaç, & Arslan, 2019). The BET surface area and Langmuir surface area decreased to  $0.65$  and  $0.83 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ , respectively, at the end of the adsorption.

Fourier transform infrared spectra for adsorbent APK were determined using FT-IR analysis. The adsorbance bands observed at  $3328$  and  $2891$  are assigned to the  $-\text{OH}$  and  $-\text{CH}_2$  stretch, respectively. The peak associated with the  $\text{C}=\text{N}$  stretching functional group was noticed to be in a band of  $1644 \text{ cm}^{-1}$ . The peak at  $2111 \text{ cm}^{-1}$  on  $\text{CC}$  stretching. Many hills have been changed. The peak at  $1318$  indicates  $\text{O}-\text{H}$  bond. These results confirm the effect of the functional group. Since the adsorbent structure changes, it can be considered as chemical adsorption. FT-IR analysis a) before adsorption b) after adsorption. It is given in Figure 2.

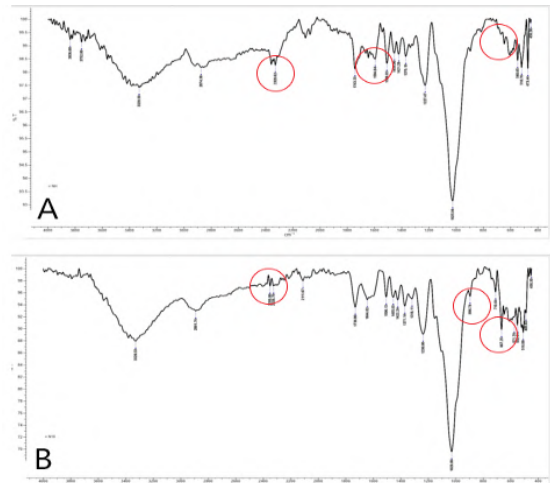


Figure 2. FTIR analysis a) APK before adsorption b) APK after adsorption

Şekil 2. FTIR analizi a) APK adsorpsiyon öncesi b) APK adsorpsiyon sonrası

### 3.2. Adsorption Studies

#### 3.2.1. Effect of pH

The pH effect was investigated by adding APK waste to the wastewater containing Cr(VI) that we prepared in the study. The

pH effect, which affects both the adsorption surface and the adsorbent type, was investigated. To investigate the effect of pH on adsorption, other variables were kept constant and samples with pH values in the range of 2, 4, 6, 8, 10, respectively, were taken and adsorption studies were carried out using APK. The values obtained at the end of the adsorption studies lasting 24 hours by adding 1 g adsorbent to the sample containing 5 ppm Cr(VI) concentration are given in Figure 4.3. It was observed that the adsorption capacity of APK in wastewater containing Cr(VI) reached the highest removal efficiency at pH 2. It was observed that the lowest adsorption value was at pH 10. The effect of pH values on wastewater containing Cr(VI) is given in Figure 3.

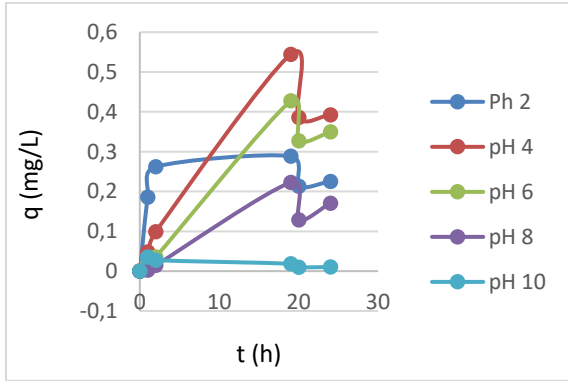


Figure 3. pH effect of APK on wastewater containing Cr(VI)

Şekil 3. pH'in Cr(VI) içeren atıksu üzerine etkisi

### 3.2.2. Effect of Adsorbent Amount

To investigate the adsorbent effect on adsorption by adding synthetic wastewater containing Cr(VI) on APK, 0.3, 0.5, 1 g APK was used, and the results are given in Figure 4. It was observed that a removal capacity of 0.738 mg.g<sup>-1</sup> was obtained when 0.5 g of APK was added to the wastewater containing Cr(VI) given in Figure 4. It was observed that a removal capacity of 0.2757 mg.g<sup>-1</sup> was obtained when 1 g of APK was added to the wastewater containing Cr(VI). Figure 4. The effect of the amount of adsorbent on the Cr(VI)-containing wastewater is observed. The effect of the amount of adsorbent of APK on the wastewater containing Cr(VI) is given in Figure 4.

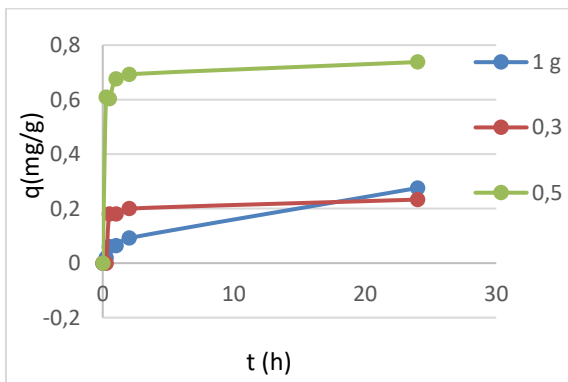


Figure 4. The effect of APK adsorbent amount on wastewater containing Cr(VI)

Şekil 4. APK adsorbent miktarının Cr(VI) içeren atıksu üzerine etkisi

### 3.2.3. Effect of Initial Chromium Concentration

In the adsorption experiments carried out in this study, it was observed that wastewater containing Cr(VI) with initial concentrations of 1, 2, 3, 4, 5, 10, and 20 ppm was adsorbed by APK at the end of the contact period of 5 hours, and the yield for the wastewater containing Cr(VI) was found to be at the beginning. The graph of the effect on the concentration is given in Figure 5.

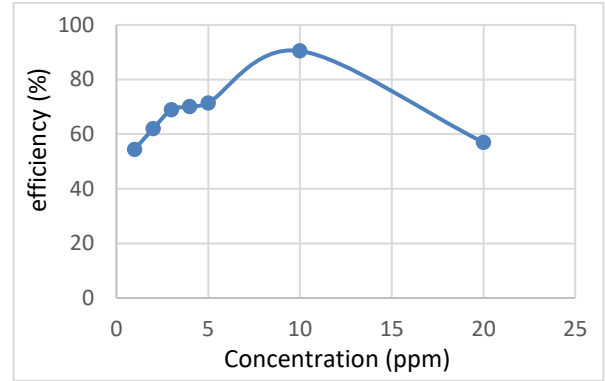


Figure 5. The effect of APK on the initial chromium concentration on wastewater containing Cr(VI)

Şekil 5. APK'nın Cr(VI) içeren atıksu için krom başlangıç üzerine etkisi

In the experiments, after 5 hours, and efficiency of 54.45% at a concentration of 1 ppm, 90.48% at a concentration of 10 ppm, and 57% at a concentration of 20 ppm was obtained.

### 3.2.4. Effect of Contact Time

According to Figures 3 and 4, q (adsorbent capacity) increased between 0-5 hours. Looking at the graphs, the constant q was fixed after the 5th hour. 5 hours was chosen as the optimum time for the adsorption studies.

### 3.2.5. Adsorption Isotherms

Langmuir and Freundlich Isotherm models were applied for the adsorption of Cr(VI)-containing wastewater with APK. Isotherm coefficients were calculated from the obtained data.

The coefficients of the isotherms are calculated using graphs and equations. The calculated coefficients are given in Table 1.

Table 1. Isotherm constants

Isotherm	Isotherm constants	Isotherm Values
Langmuir	$q_m$	0.0836
	$b_a$	28.993
	$R^2$	0.9486
Freundlich	$n$	0.892
	$K_a$	295.733
	$R^2$	0.9054

As a result of the studies, it has been seen that the Langmuir isotherm model is more suitable than the two isotherm models.

### 3.2.6. Kinetic Studies

First and second-order reaction kinetic models provide information about the kinetics of an adsorption system. In this study, first and second-order reaction rate kinetic models were

applied. Pseudo-first order and second-order kinetic models were examined for Cr(VI) removal of APK. The results showed that the  $R^2$  value of the first-order kinetic model was 0.9021, and the  $R^2$  value of the second-order kinetic value was 0.9582. The pseudo-second-order kinetic model was chosen for Cr(VI) removal. The fact that it was suitable for the pseudo-second-order kinetic model revealed that the reaction was chemical and that adsorbent bands could not be used again.

Table2. Kinetic constants

Kinetics	Parameters	Values
Pseudo-First- Order	$K_1$ (min <sup>-1</sup> )	1.828
	$q_e$ (mg.g <sup>-1</sup> )	5.876
	$R^2$	0.9021
Pseudo-Second- Order	$K_2$ (g.mg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	0.458
	$q_e$ (mg.g <sup>-1</sup> )	0.435
	$R^2$	0.9582

#### 4. Conclusions and Recommendations

According to the experimental results we have done, the peach kernel was selected as an adsorbent in the ongoing experiments of the study and used in the ongoing experiments. In the study, pH 2, adsorbent amount of 0.5 g, and retention time of 5 hours were chosen as optimum conditions, and suitable results were obtained for Cr(VI) removal under these conditions.

It was observed that a removal capacity of 0.738 mg.g<sup>-1</sup> was obtained when 0.5 g APK was used as an adsorbent under optimum operating conditions. As a result of the application of the experimental data obtained as a result of the studies to the isotherm models, it has been seen that the Langmuir isotherm model is more suitable. In the reaction rate kinetic results for adsorption, our correlation coefficient  $R^2$  was calculated as 0.9021 in the graph drawn for the first-order kinetic model and

0.9582 in the graph prepared for the pseudo-second-order kinetic model.

Based on the correlation coefficients in the evaluation made between both kinetic models, it was concluded that the pseudo-second-order kinetic model of the reaction rate kinetics was more appropriate in the Cr(VI) purification of APK. This result also concluded that the Cr(VI) removal of APK from the aqueous solution is a chemical reaction and that the reuse of the adsorbent after adsorption is not appropriate.

Today, the development of environmentally friendly technologies is an important research topic due to the reuse of wastes or alternative uses. It has been observed that APK can be considered as an alternative use in the removal of Cr(VI) from aqueous solutions. The results obtained have led to the conclusion that the use of APK as an adsorbent will provide toxic Cr(VI) removal in wastewater. This result can be considered as an advantage, as the cost is low economically and the reaction in the removal of adsorbed Cr(VI) is chemical, and there is no desorption of Cr(VI) into the water after the adsorption process. Considering the APK calorific value after the adsorption process, it is possible to dispose of these facilities by contributing to the energy needs of the facilities where emission-controlled energy production and industrial production are carried out. As a result, APK can provide calorific value in units of suitable facilities. From another point of view, the recovery of Cr(VI) as a result of the need and economic evaluation as a result of the use of these facilities can be considered as a separate study.

Table 3 is showing comparison with other studies.

#### 5. Acknowledge

The publication work obtained from this master's thesis is supported by Mersin University Scientific Research Projects Unit as a project numbered 2019-3-TP2-3712.

Table 3. Comparison with other studies

Adsorbent	Capacity (mg.g <sup>-1</sup> )	Isotherm	Kinetic Model	References
Activated Peach Kernel	0.738	Langmuir	Pseudo-second-order	This study
Wheat residue	322.58	Freundlich	Pseudo-second-order	(Chen, Yue, Gao, & Xu, 2010)
Banana Peel	131.56	Langmuir and D-R	Pseudo-first-order	(Memon, and others 2009)
Rice husk	73.96	Langmuir	Pseudo-first-order	(Akhtar, Iqbal, Kausar, Bhangar, & Shaheen, 2010)

## References

- Akhtar, M., Iqbal, S., Kausar, A., Bhangar, M., & Shaheen, M. (2010). An Economically Viable Method for the Removal of Selected Diva- Lent Metal Ions from Aqueous Solutions using Activated Rice Husk. *Colloids Surf. B Biointerfaces*, 75, 149-155.
- Benefield, L., Judkins, J., & B.L., W. (1982). *Process chemistry for water and wastewater treatment*. New Jersey: Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- Bradl, H. (2002). *Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation*. London: Academic Press.
- Chen, S., Yue, Q., Gao, B., & Xu, X. (2010). Equilibrium and Kinetic Adsorption Study of the Adsorptive Removal Cr(VI) Using Modifiedwheat Residue. *J. Coll. Interf. Sci.*, 349, 256-264.
- Filiz, E. (2007). *Removal Of Heavy Metals From Water With Organic Based Natural Adsorbents*. İstanbul: unpublished master's thesis, Istanbul Technical University.
- Fu, F., & QiWang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters. *Journal of Environmental Management*, 92, 407-418.
- Gupta, V., & Rastogi, A. (2009a). Biosorption of Hexavalent Chromium by raw and AcidTreated Green Alga *Oedogonium hatei* from Aqueous Solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 163, 396-402.
- Gupta, V., Ali, I., Saleh, T., Siddiqui, M. N., & Agarwal, S. (2013). Chromium Removal from Water by Activated Carbon Developed from Waste Rubber Tires. *Environmental Science Pollution Research*, 20, 1261-1268.
- Gupta, V., Goyal, R. N., & Sharma, R. (2009b). NovelPVCmembranebased alizarin Sensor and its application; Determination of Vanadium, Zirconium and Molybdenum. *International Journal Electrochemical Science*, 4, 156-172.
- Gupta, V., Rastogi, A., & Nayak, A. (2010). Adsorption Studies on the Removal of Hexavalent Chromium from Aqueous. *Journal of Colloid and Interface Science*, 342(1), 135-141.
- Ho, Y., & McKay, G. (1999). Pseudo-Second Order Model for Sorption Processes. *Process Biochemical*, 34, 451-465.
- JParga, R., Cocke, D., Valverde, V., Gomes, Kesmez, M. H., Moreno, H., Mencer, D. (2005). Characterization of Electrocoagulation for Removal Chromium and Arsenic. *Chemical. Müh. Technology*, 28(5), 605-612.
- Kang, S., Le, J., Moon, S., & Kim, K. (2004). Competitive Adsorption Characteristics of Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, and Competitive Adsorption Characteristics of Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, and Wastewater. *Chemosphere*, 56(2), 141-147.
- Kocabaş, B. (2015). *The Investigation Of Adsorption Brilliant Blue R Textile Dye Onto Egg Shell Modified Chitosan*. Çorum: Unpublishes master's thesis, Hitit University Institute of Science.
- Ku, Y., & Jung, I. L. (2001). Photocatalytic Reduction of Cr(VI) in Aqueous Solutions by UV Irradiation with the Presence of Titanium Dioxide. *Water Research*, 35, 135-142.
- Memon, J., Memon, S., Bhangar, M., El-Turki, A., Hallam, K., & Allen, G. (2009). Banana Peel: a Green and Economical Sorbent for the Selective Removal of Cr(VI) from Industrial Wastewater. *Colloids Surf. B Biointerfaces*, 70, 232-237.
- Metcalfe, L., & H.P., E. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. New York, USA: McGraw-Hill.
- Rana, P., N., M., & Rajagopal, C. (2004). Electrochemical Removal of Chromium from Wastewater by using Carbon Aerogel Electrodes. *Water Research*, 38, 2811-2820.
- Rutland, F. (1991). Environmental Compatibility of Chromiumcontaining Tannery and Other Leather Product Wastes at Land Disposal Sites. *Journal Am Leather Chemical Assoc*, 86, 364-375.
- Saleh, M., Yalvaç, M., & Arslan, H. (2019). Optimization of Remazol Brilliant Blue R Adsorption ontoXanthium Italicum using the Response Surface Method. *Karbala International Journal of Modern Science*, 5(1).
- Saleh, M., Yalvaç, M., Arslan, H., & Gün, M. (2019). Malachite Green Dye Removal from Aqueous Solutions Using Invader Centaurea Solstitialis Plant and Optimization by Responce Surface Method: Kinetic, Isotherm, and Thermodynamic Study. *European Journal of Science and Technology*, 17, 755-768.
- Sawyer, C., & P.L., M. (1978). *Chemistry for environmental engineering*. McGraw Hill Inc., 519.
- Shakoor, S., & Nasar, A. (2018). Adsorptive decontamination of synthetic wastewater containing crystal violet dye by employing Terminalia arjuna sawdust waste. *Groundwater for Sustainable Development*, 30-38.
- Shouli, B., Liangyuan, C., Dianqing, L., Wensheng, Y., Pengcheng, Y. Z., Aifan, C., & Liu, C. (2010). Sol Gel Synthesized Zinc Oxide Nanorods on Single And Codoped ZnO Seed Layer Templates: Morphological, Optical and Electrical Properties. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 146, 129-137.
- Tchounwou, P., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. (2012). *Heavy Metals Toxicity and the Environment* NIH-RCMI Center for Environmental Health. College of Science, Engineering and Technology, Jackson State University, USA.
- Tosun, İ. (2009). Usability of the thermal decomposition product of alunite-potassium chloride mixture for dye and phosphate removal from aqueous solutions. Eskişehir: Unpublished phd's thesis, Eskişehir Osmangazi University Institute of Science.





# Plazma Ortamında Aktifleştirilen Bimetalik Nano-katalizör Varlığında Sodyum Borhidrürün Hidrolizinin İncelenmesi

Tülin Avcı Hansu<sup>\*1</sup>, Saliha Özarslan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5441-4696), [tulin.hansu@siirt.edu.tr](mailto:tulin.hansu@siirt.edu.tr)

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5696-9644), [salihaozarslan@windowslive.com](mailto:salihaozarslan@windowslive.com)

(İlk Geliş Tarihi 13 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 20 Aralık 20212)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008996)

**ATIF/REFERENCE:** Avcı Hansu, T. & Özarslan, S. (2021). Plazma Ortamında Aktifleştirilen Bimetalik Nano-katalizör Varlığında Sodyum Borhidrürün Hidrolizinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 487-492.

## Öz

Bu çalışmada CoBi bimetalik nano katalizörüne plazma etkisi ile hidroliz reaksiyonundaki aktivitesi araştırılmıştır. Hidrojen kaynağı olarak sodyum borhidrür kullanılmıştır. Sentezlenen katalizörün yüzeyi geçirmeli elektron mikroskopisi (TEM) ve yüzey boyut dağılımı (BET) ile analiz edilmiştir. Plazma etkisini incelemek için katalizör plazma gücü (%60, %80 ve %100), plazma süresi (10, 15 ve 20 dakika) ve plazma ortamına verilen inert gaz (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ve Ar) gibi çeşitli parametreler uygulanmıştır. Bu uygulanan parametreler sonucu oluşan katalizör, 30 °C, 10 ml su, %1 NaBH<sub>4</sub>, %5 NaOH ve 25 mg katalizör varlığında hidroliz reaksiyonuna ilave edilmiştir. Hidroliz reaksiyonunu tamamlama süreleri referans alınarak CoBi katalizörünü aktifleştirmek için uygun koşulların CO<sub>2</sub> gazı ortamında %80 plazma gücü ile 15 dakika plazma uygulanması olduğu belirlenmiştir

**Anahtar Kelimeler:** Plazma etkisi, Nano-katalizör, Hidrojen üretimi, Sodyum borhidrür.

## Investigation of Hydrolysis of Sodium Borohydride in the Presence of Activated Bimetallic Nano-catalyst in Plasma Medium

### Abstract

The activity of a CoBi bimetallic nanocatalyst in a hydrolysis reaction with a plasma effect was investigated in this study. Sodium borohydride was used as the hydrogen source. The surface of the synthesized catalyst was analyzed by transmission electron microscopy (TEM) and surface size distribution (BET). Various parameters such as catalyst plasma power (60%, 80% and 100%), plasma time (10, 15 and 20 min) and inert gas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> and Ar) given to the plasma medium were applied to examine the plasma effect. The catalyst produced by these parameters was added to the hydrolysis reaction in the presence of 30 °C, 10 ml of water, 1% NaBH<sub>4</sub>, 5% NaOH, and 25 mg of catalyst. Based on the hydrolysis reaction completion times, it was determined that the best conditions for activating the CoBi catalyst were to apply plasma for 15 minutes at 80 % plasma power in a CO<sub>2</sub> gas environment.

**Keywords:** Plasma effect, Nano-catalyst, Hydrogen production, Sodium borohydride.

\* Sorumlu Yazar: [tulin.hansu@siirt.edu.tr](mailto:tulin.hansu@siirt.edu.tr), [tulinn\\_avci@hotmail.com](mailto:tulinn_avci@hotmail.com)

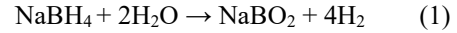
## 1. Giriş

Yenilenebilir enerji; güneş, rüzgar, dalga, okyanus ısı, jeotermal, gelgit ve biyokütle gibi çok çeşitli kaynaklardan elde edilebilen temiz ve tükenmeyen bir enerji çeşididir. Dolayısıyla yenilenebilir enerji, tükenme tehlikesi ile karşı karşıya olan fosil kaynakların yerine kullanılacak güçlü bir adaydır. Fosil yakıtlar; hava kirliliği, iklim değişikliği, sera gazı etkisi gibi yaşamı tehdit altına alan olumsuz etkileriyle bilinmektedir (ATELGE), (ATELGE, 2021). Yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtların yerini alması ile bu gibi zararlı etkilerin en aza indirileceği ve gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakılabileceği öngörülmektedir (Moriarty & Honnery, 2020). Yenilenebilir enerji sistemlerinin geliştirilmesi; enerji tedarik güvenilirliğinin ve organik yakıt ekonomisinin iyileştirilmesi, nüfusun yaşam standardının ve istihdam düzeyinin artırılması, çöl ve dağlık bölgelerin kalkınmasının sağlanması, kırsal kesimde iş fırsatları yaratılarak kentsel alanlara göçün en aza indirilmesi gibi avantajları da bünyesinde barındırmaktadır (Panwar, Kaushik, & Kothari, 2011).

Yenilenebilir enerji kaynakları, farklı yöntemler kullanılarak elektrik ve çeşitli formlarda yakıtlar gibi diğer enerji biçimlerine dönüştürülebilir. Örneğin güneş enerjisi doğrudan su ve alan ısıtma amaçlı kullanılabilir gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir. Bir diğer yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle, gelişmekte olan ülkelerde enerji arzı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Biyokütle kaynakları, binalarda ısı ve ışık sağlamada, elektrik üretiminde ve katı, sıvı veya gaz yakıtlara dönüştürülerek kullanılabilir (Xia & Xia, 2010). Enerji kaynaklarının farklı yöntemler kullanılarak dönüştürüldüğü gaz yakıt türlerinden biri de hidrojen'dir. Hidrojen, yüksek verimliliği, bolluğu, sıfır emisyonu ve yenilenebilirliği ile en temiz enerji türlerinden biridir. Hidrojen kullanımının yaygınlaştırılması, fosil yakıtların yanması ile oluşan karbon emisyonlarının olumsuz etkisini azaltmak için potansiyel bir yoldur (KARAOĞLU & KARAOĞLU). Hidrojen, zamana ve kullanım yerine göre talebe ayak uydurmak için birçok biçimde depolanabilir ve kolayca taşınabilir. Bu nedenle çeşitli endüstriler, evsel kullanımlar, otomotiv uygulamaları ve elektrik üretimi gibi birçok farklı alanda hidrojen kullanımı mümkündür. Hidrojen depolama için fiziksel ve kimyasal olarak tanımlanan iki yöntem kullanılmaktadır. Fiziksel depolama yöntemleri; sıkıştırılmış gaz şeklinde, sıvı halde ve kriyoadsorpsiyon ile depolamadır. Kimyasal depolama yönteminde ise hidrojen molekülleri, kimyasal reaksiyonlar kullanılarak katı bileşiklerde depolanabilir (BOYNUEĞRİ & Metin, 2021).

Özellikle ulaşım sektöründe hidrojene dayalı bir enerji sistemi kurulması için hidrojen depolama teknolojisinin önemli ölçüde geliştirilmesi gerekmektedir. Kimyasal hidrürlerin hidrojen depolamak için oldukça güvenli ve umut verici bir seçenek olduğuna inanılmaktadır (Shang & Chen, 2006). Kimyasal hidrürler arasında, sodyum borhidür ( $\text{NaBH}_4$ ), yanmazlık, kolay kontrol edilebilen hidrojen üretim hızı, yan ürünün geri dönüştürülebilirliği ve yüksek  $\text{H}_2$  depolama verimliliği gibi avantajları sayesinde hidrojen depolama malzemesi olarak yoğun bir şekilde çalışılmıştır (Lee et al., 2007; Wee, Lee, & Kim, 2006). Denklem 1'de  $\text{NaBH}_4$  hidroliz reaksiyonu verilmiştir. Uygun bir katalizör varlığında, 1 mol  $\text{NaBH}_4$  hidroliz reaksiyonunda 4 mol  $\text{H}_2$  üretilir.  $\text{NaBH}_4$ 'ün

hidroliz ve metanoliz reaksiyonunda kullanılan katalizör hidrojen üretim hızını kontrol eder (Ali, Khan, & Asiri, 2019; Avcı Hansu, Çağlar, Demir Kivrak, & Sahin; Kaya, 2020).



$\text{NaBH}_4$ 'den hidrojen üretimi ile ilgili literatürde pek çok çalışma vardır. Yapılan literatür araştırmasında  $\text{NaBH}_4$ 'den hidrojen üretimi konusu halen araştırmacıların dikkatini çekmektedir (Avcı Hansu et al.; Avcı Hansu, Sahin, Çağlar, & Demir Kivrak, 2021; Bekirogullari, Abut, Duman, & Hansu, 2021; T. Hansu, Çağlar, Sahin, & Demir Kivrak, 2020; T. A. Hansu, Sahin, Çağlar, & Kivrak, 2020; Kaya, 2020).

Co metali katalitik reaksiyonlarda aktif olduğu için bu çalışmada tercih edilmiştir. İkinci metal ilave edilerek sentezlenen katalizörün aktivitesi ve kararlılığı artırılmak istenmiştir. Çalışmada ikinci metal olarak Bi tercih edilmiştir. Plazma uygulanan katalizörlerin aktivitesinin arttığı birçok çalışmada kanıtlanmıştır (Ekinci, Şahin, Saka, & Avcı, 2013; Mistry et al., 2016; Şahin, Karakaş, Kaya, & Saka, 2017; Şahin, Saka, Baytar, & Hansu, 2013). Bundan dolayı bu çalışmada katalizörü aktifleştirmek için plazma yöntemi tercih edilmiştir. Bu çalışmada plazma ortamında aktifleştirilen CoBi 95:5 atomik oranında bimetalik katalizörünün hidrolizi incelenmiştir. CoBi (95:5) katalizörünün aktifliği plazma ortamında farklı güç yoğunluğu, farklı inert gaz ortamı ve plazma süresi gibi parametrelerle değerlendirildi. Sentezlenen CoBi (95:5) katalizörünün yüzeyi hakkında bilgi almak için TEM ve BET analizi yapıldı.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Katalizörün Hazırlanması

İkili alaşım formunda CoBi katalizörü sentezlenirken öncelikle kobalt nitrat ( $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) ve bizmut nitrat ( $\text{BiO}(\text{OH})_9(\text{NO}_3)_4$ ) sulu çözeltileri 95:5 atomik oranında karıştırıldı. Karışım halindeki çözeltinin indirgenmesi güçlü bir karıştırıcı altında ve sodyum borhidür ( $\text{NaBH}_4$ ) ile gerçekleştirildi. Fazla miktarda sodyum borhidür kullanılarak metal katyonların tamamen indirgenmesi sağlandı. İndirgemenin sonra CoBi katalizörü vakum pompası yardımıyla süzülde ve deiyonize su ve etanol ile yıkandı ve sürekli akışlı  $\text{N}_2$  ortamında 353 K'de 3-4 saat boyunca kurutulmaya bırakıldı. Kurutulan CoBi (95:5) katalizörünün oksitlenmemesi için kapalı ortamda muhafaza edilerek deneysel çalışmalarda kullanıma hazır hale getirildi.

### 2.2. Plazma Etkisi

CoBi (95:5) katalizörünü plazma ile aktifleştirmek için 100 mm çapında ve 270 mm uzunluğunda, 2.5 Pa basınçta ve 80 W güç girişinde bir hazneye sahip bir plazmakimyasal reaktör (Femto, Diener electronic, Almanya) kullanıldı. Katalizör tozu (yaklaşık 0,5 g) bir kuvars tekneye yüklendi ve boşaltma hücre sine konuldu. Katalizör numunesi reaktöre konuldu ve istenilen plazma gücü, süresi ve inert gaz ortamında plazmaya tabi tutuldu. Elde edilen katalizörler, daha sonra kullanılmak üzere hava geçirmez numune kabında saklandı. Şekil 1'de çalışmada kullanılan sistem şematik olarak gösterilmiştir



CO<sub>2</sub> gazı ortamında %80 plazma gücü ile 15 dk plazma etkisi

Şekil 1. Kullanılan Sistemin Şematik Gösterimi

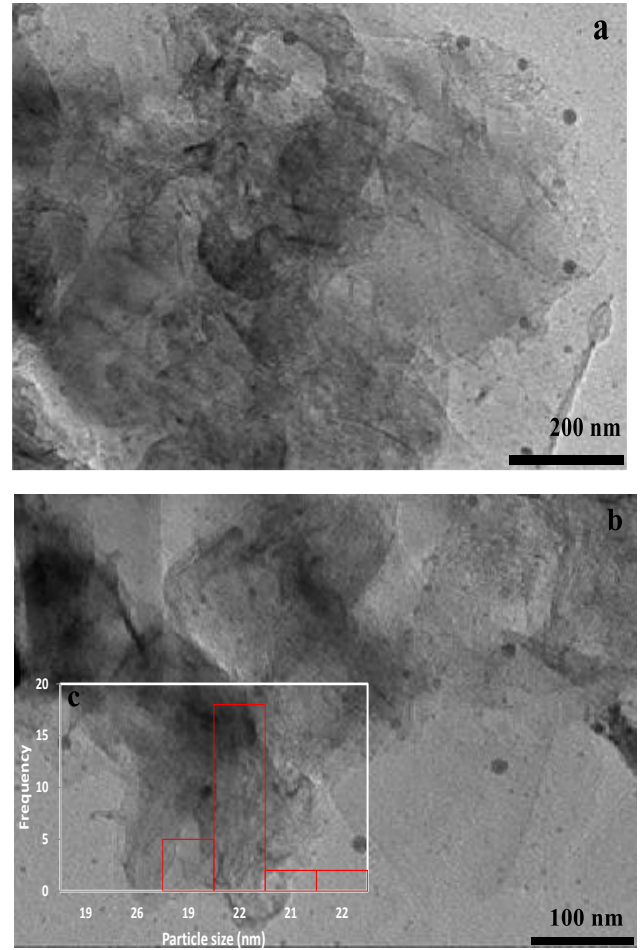
### 2.3. YüzeY Karakterizasyonu

CoBi nanoparçacığının morfolojisi ve boyut dağılımları Zeiss Sigma 300 transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ile karakterize edildi. YüzeY yapısı Brunauer–Emmett–Teller (BET) yöntemini kullanan yüzeY alanı ve gözeneklilik ölçüm analizörü ile donatılmış bir Micromeritics Tristar II 3020 üzerinde gerçekleştirilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. YüzeY Karakterizasyonu Sonuçları

Geçirmeli elektron mikroskopisi (TEM) partiküllerin şeklini ve boyutunu belirlemede oldukça doğru sonuçlar veren bir tekniktir. Aynı zamanda katının bileşimi ve partiküllerin içyapısı ile ilgili de bilgi sağlamaktadır. Sentezleme yönteminde indirgeme işleminin hızlı bir şekilde gerçekleşmesinden dolayı küçük bir yığın gözlenirken, homojen parçacık dağılımı şekilden görülmektedir. Ortalama parçacık boyutu CoBi (95:5) katalizörü için 20 nm olarak bulundu. CoBi katalizörünün farklı partikül boyutları için oluşturulmuş olan ve histogram grafiklerini de içeren TEM görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. CoBi Katalizörü (a) 200 nm Partikül Boyut (b) 100 nm Partikül Boyut (c) 100 nm Partikül Boyut Histogram Grafik İnsert

Sentezlenen katalizör mezopöz yapısını gösteren V tipi adsorpsiyon izotermi sergiler. CoBi (95:5) katalizörünün BET yüzeY alanı 16.9711 m<sup>2</sup>/g olarak hesaplandı ve bu değerler Tablo 1’de verilmiştir. BJH ile hesaplanan CoBi katalizörünün gözenek büyüklüğü 18.1127 nm olarak bulundu. CoBi katalizörünün BET yüzeY alanı, gözenek hacmi ve gözenek boyutu Tablo 1’de verilmiştir. TEM’de hesaplanan gözenek boyutunun 20 nm olması BET analizinde hesaplanan gözenek boyutuna çok yakın olduğundan katalizör içeriğinde homojen bir dağılım ve sentezin gerçekleştiğini söyleyebiliriz.

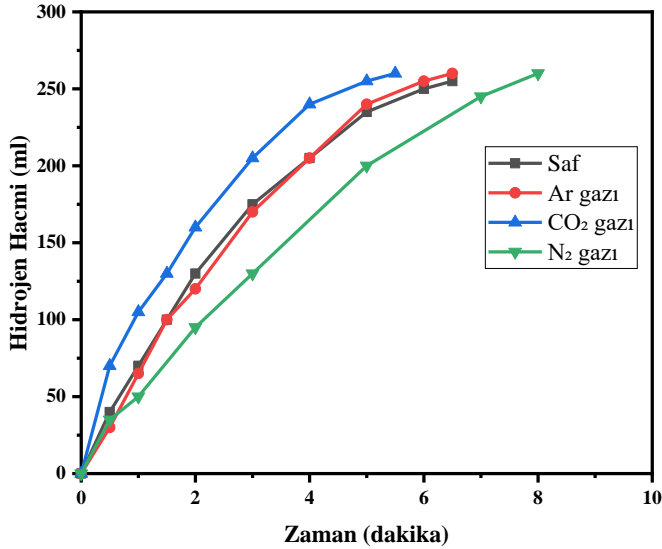
Tablo 1. BET Yüzey Alanı, Gözenek Hacmi ve Hazırlanan Katalizörün Gözenek Boyutu

Katalizör	BET Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /g)	Gözenek Hacmi (cc/g)	Gözenek Boyutu (nm)
CoBi (95:5)	16.9711	0.078029	18.1127

### 3.2. Hidroliz Deneyleri

#### 3.2.1. Farklı İnert Gaz Ortamının Hidrojen Üretimine Etkisi

Sentezlenen CoBi (95:5) katalizörüne plazma ortamında farklı inert gaz ortamında %80 plazma gücü 10 dakika uygulandı. %80 plazma gücü ile 15 dakika plazma uygulanan katalizörlerin %5 NaOH, 10 ml %1'lik NaBH<sub>4</sub> çözeltisi, 30 °C'de ve 25 mg CoBi katalizör varlığında hidroliz reaksiyonları incelenmiştir. Elde edilen hidrojen hacmine bağlı zaman grafikleri Şekil 3'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere CO<sub>2</sub> gazı ortamında plazma gücü uygulanan katalizör hidroliz reaksiyonunu diğer gaz ortamları ve plazma uygulanmamış haline göre daha kısa sürede tamamlamaktadır.

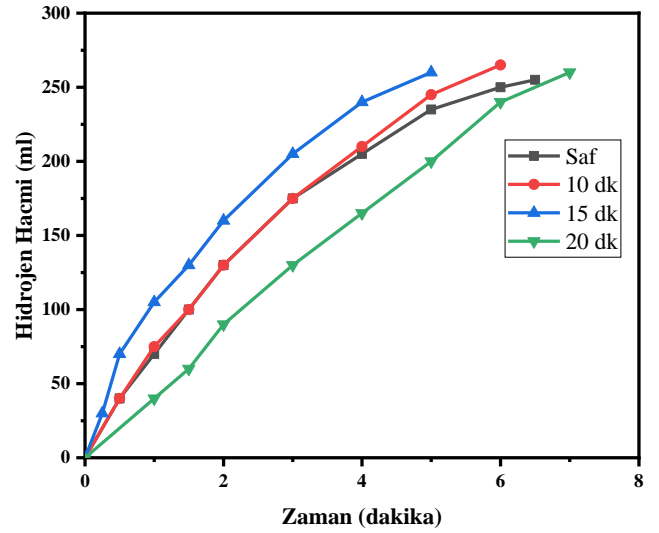


Şekil 3. İnert Gaz Ortamının Hidrojen Üretimine Etkisi (T=30 °C, V<sub>su</sub>= 10 ml, %1 NaBH<sub>4</sub>, %5 NaOH, 25 mg katalizör)

#### 3.2.2. Uygulanan Plazma Süresinin Hidrojen Üretimine Etkisi

Plazma ortamında CO<sub>2</sub> gazına karar verdikten sonra plazma süresinin etkisi incelendi. Plazma süresinin hidrojen üretimine etkisini incelemek için; CoBi (95:5) katalizörüne %80 plazma gücü ve CO<sub>2</sub> gazı ortamında farklı sürelerde (10, 15, 20 dakika)

plazma uygulandı. Elde edilen katalizörlerin 30 °C, 10 ml su, %1 NaBH<sub>4</sub>, %5 NaOH ve CO<sub>2</sub> gazı ortamında %80 plazma gücü farklı sürelerde uygulanan 25 mg CoBi (95:5) katalizörü varlığında hidroliz deneyleri yapıldı. Elde edilen hidrojen hacmine bağlı zaman grafiği Şekil 4'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere 15 dakika uygulanan plazma süresi hidroliz reaksiyonunu, plazma uygulanmamış ve diğer uygulanan plazma sürelerine göre daha kısa sürede tamamlamaktadır.

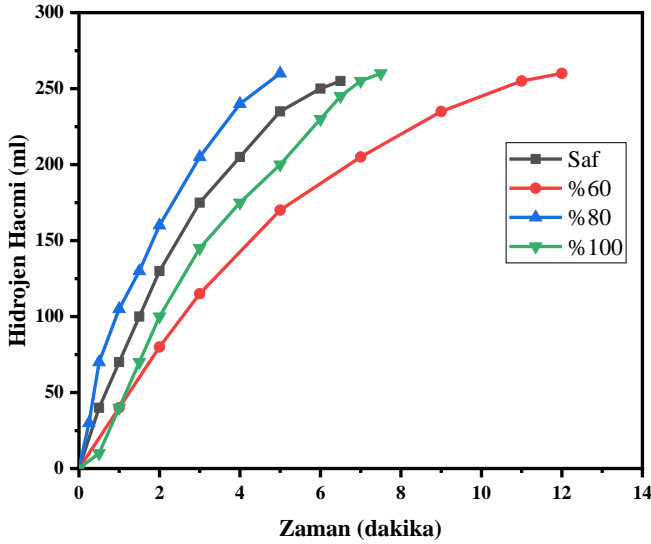


Şekil 4. Uygulanan Plazma Süresinin Hidrojen Üretimine Etkisi (T=30 °C, V<sub>su</sub>= 10 ml, %1 NaBH<sub>4</sub>, %5 NaOH, 25 mg katalizör)

#### 3.2.3. Uygulanan Plazma Gücünün Hidrojen Üretimine Etkisi

Katalizöre uygulanan süre ve inert gaz ortamına karar verildikten sonra uygulanan plazma gücünün hidrojen üretimine etkisi incelendi. Plazma gücünün hidrojen üretimine etkisini incelemek için, 30 °C, 10 ml su, %1 NaBH<sub>4</sub>, %5 NaOH ve CO<sub>2</sub> gazı ortamında 15 dakika farklı plazma gücü uygulanmış 25 mg CoBi (95:5) katalizörü varlığında hidroliz deneyleri yapıldı. Elde edilen hidrojen üretimine bağlı zaman grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere plazma gücü %60'tan %80'e çıkarıldığında katalizörün hidroliz reaksiyonunu tamamlama süresi kısalmaktadır. Fakat uygulanan plazma gücü %100'e çıkarıldığında reaksiyonu tamamlama süresi %80'e göre artmaktadır. Bunun temel nedeni aşırı güç uygulandığında katalizörün aktif yüzeylerinin bozulması ya da zehirlenmesidir. Bundan dolayı katalizör aktivitesini yitirmektedir.





Şekil 5. Uygulanan Plazma Gücünün Hidrojen Üretimine Etkisi (T=30 °C, V<sub>su</sub>= 10 ml, %1 NaBH<sub>4</sub>, %5 NaOH, 25 mg katalizör)

#### 4. Sonuç

Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin en önemli ihtiyacı enerjidir. Bu nedenle yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili çalışmalar ve araştırmalar sınırlı kaynaklara sahip fosil yakıtlara alternatif olması açısından oldukça önemlidir. Bu durumda hidrojen enerjisi devreye girer. Hidrojen, kullanıldığı teknolojilerde verimliliği artırması ve kirletici etkilerinin düşük olması nedeniyle gelecekte dikkate alınması gereken en önemli enerji kaynağı olarak görülmektedir

Bu çalışmada literatürde optimum hidrojen üretim şartları belirli olan CoBi (95:5) katalizörünün aktifleştirilmesi incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda CO<sub>2</sub> gazı ortamında 15 dakika %80 plazma gücü CoBi (95:5) katalizörüne uygulandığında hidrojen üretim verimliliği saf haline göre artmıştır. Plazma uygulanmayan katalizör hidroliz reaksiyonunu 6,5 dakikada tamamlarken belirlenen koşullarda plazma uygulanan katalizör hidroliz reaksiyonunu 4,5 dakika gibi daha kısa sürede tamamlamıştır. Bilindiği üzere kimyasal proseslerde süreç ne kadar hızlı ilerlerse istenen ürün ve verim o derecede artmaktadır. Bu sonuçlar ışığında çalışma amacına ulaşılmıştır. Üretilen katalizöre destek malzemesi eklenerek daha aktif ve daha karalı bir katalizör tasarlanıp sentezlenebilir. Bu çalışma bu yönü ile diğer çalışmalara öncülük etmektedir.

#### Kaynakça

- Ali, F., Khan, S. B., & Asiri, A. M. (2019). Chitosan coated cellulose cotton fibers as catalyst for the H<sub>2</sub> production from NaBH<sub>4</sub> methanolysis. *international journal of hydrogen energy*, 44(8), 4143-4155.
- ATELGE, R. Kısmi Yük Koşullarında Dizel-Biyogaz Kullanılarak Çift Yakıtlı Dizel Motorun Enerji ve Ekserji Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(27), 334-346.
- ATELGE, R. (2021). Türkiye'de Sığır Gübresinden Biyoyakıt Olarak Biyogaz Üretiminin Potansiyeli ve 2030 ve 2053 Yıllarında Karbon Emisyonlarının Azaltılmasına Öngörülen Etkisi. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5(1), 56-64.

- Avci Hansu, T., Çağlar, A., Demir Kivrak, H., & Sahin, O. Structure of ruthenium nanocatalysts of bismuth, investigation of its effect on hydrolysis performance and kinetic studies. *Energy Storage*, e267.
- Avci Hansu, T., Sahin, O., Çağlar, A., & Demir Kivrak, H. (2021). Untangling the cobalt promotion role for ruthenium in sodium borohydride dehydrogenation with multiwalled carbon nanotube-supported binary ruthenium cobalt catalyst. *International Journal of Energy Research*, 45(4), 6054-6066.
- Bekirogullari, M., Abut, S., Duman, F., & Hansu, T. A. (2021). Lake sediment based catalyst for hydrogen generation via methanolysis of sodium borohydride: an optimization study with artificial neural network modelling. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 1-18.
- BOYNUEĞRİ, T. A., & Metin, G. (2021). RELEASING HYDROGEN FROM NABH<sub>4</sub> VIA HYDROGEL BASED CoF<sub>2</sub> CATALYST. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 41(1), 1-9.
- Ekinci, A., Şahin, Ö., Saka, C., & Avci, T. (2013). The effects of plasma treatment on electrochemical activity of Co-W-B catalyst for hydrogen production by hydrolysis of NaBH<sub>4</sub>. *International journal of hydrogen energy*, 38(35), 15295-15301.
- Hansu, T., Çağlar, A., Sahin, O., & Demir Kivrak, H. (2020). A COMPARATIVE STUDY FOR SODIUM BOROHRIDE DEHYDROGENATION AND ELECTROOXIDATION ON CERIUM AND COBALT CATALYSTS.
- Hansu, T. A., Sahin, O., Çağlar, A., & Kivrak, H. (2020). A remarkable Mo doped Ru catalyst for hydrogen generation from sodium borohydride: the effect of Mo addition and estimation of kinetic parameters. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 131(2), 661-676.
- KARAOĞLU, S. Y., & KARAOĞLU, S. HYDROGEN GENERATION FROM SODIUM BOROHRIDE WITH COBALT BORIDE CATALYSTS. *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 84-96.
- Kaya, M. (2020). Production of metal-free catalyst from defatted spent coffee ground for hydrogen generation by sodium borohydride methanolysis. *International journal of hydrogen energy*, 45(23), 12731-12742.
- Lee, J., Kong, K. Y., Jung, C. R., Cho, E., Yoon, S. P., Han, J., . . . Nam, S. W. (2007). A structured Co-B catalyst for hydrogen extraction from NaBH<sub>4</sub> solution. *Catalysis today*, 120(3-4), 305-310.
- Mistry, H., Varela, A. S., Bonifacio, C. S., Zegkinoglou, I., Sinev, I., Choi, Y.-W., . . . Strasser, P. (2016). Highly selective plasma-activated copper catalysts for carbon dioxide reduction to ethylene. *Nature communications*, 7(1), 1-9.
- Moriarty, P., & Honnery, D. (2020). Feasibility of a 100% global renewable energy system. *Energies*, 13(21), 5543.
- Panwar, N., Kaushik, S., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(3), 1513-1524.
- Shang, Y., & Chen, R. (2006). Hydrogen storage via the hydrolysis of NaBH<sub>4</sub> basic solution: optimization of NaBH<sub>4</sub> concentration. *Energy & fuels*, 20(5), 2142-2148.
- Şahin, Ö., Karakaş, D. E., Kaya, M., & Saka, C. (2017). The effects of plasma treatment on electrochemical activity of Co-B-P catalyst for hydrogen production by hydrolysis of NaBH<sub>4</sub>. *Journal of the Energy Institute*, 90(3), 466-475.

- Şahin, Ö., Saka, C., Baytar, O., & Hansu, F. (2013). Influence of plasma treatment on electrochemical activity of Ni (o)-based catalyst for hydrogen production by hydrolysis of NaBH<sub>4</sub>. *Journal of Power Sources*, 240, 729-735.
- Wee, J.-H., Lee, K.-Y., & Kim, S. H. (2006). Sodium borohydride as the hydrogen supplier for proton exchange membrane fuel cell systems. *Fuel processing technology*, 87(9), 811-819.
- Xia, X., & Xia, J. (2010). *Evaluation of potential for developing renewable sources of energy to facilitate development in developing countries*. Paper presented at the 2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference.



# Mo-katkılı Mikroalg Kullanılarak Enerji Depolama Amaçlı Süperkapasitör Üretimi

Mustafa Kaya<sup>1</sup>, Fevzi Hansu<sup>2</sup>, Murat Akdemir<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0622-3163), [mustafakaya@siirt.edu.tr](mailto:mustafakaya@siirt.edu.tr)

<sup>2</sup> Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5325-5459), [f\\_hansu@siirt.edu.tr](mailto:f_hansu@siirt.edu.tr)

<sup>3\*</sup> Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9235-1913), [muratakdemir@siirt.edu.tr](mailto:muratakdemir@siirt.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 14 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009539)

**ATIF/REFERENCE:** Kaya, M., Hansu, F. & Akdemir, M. (2021). Mo-katkılı Mikroalg Kullanılarak Enerji Depolama Amaçlı Süperkapasitör Üretimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 493-497.

## Öz

Enerji depolama ihtiyacını gidermek ve geleneksel kondansatörler ve bataryaların dezavantajlarını aşmak için son zamanlarda süperkapasitörler üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, tatlı su yosunu biyokütlesi olan *Microcystis aeruginosa*'ya Molibden katkılama yapılmış, karbonizasyon ve aktivasyon yöntemleri birleştirilerek aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen aktif karbonlar püskürtme yöntemi kullanılarak elektrotlara dönüştürülmüş ve bir süperkapasitör hücresi hazırlanmıştır. Elektrotların elektrokimyasal testleri, elektrolit olarak 6 M KOH kullanılarak iki elektrotlu bir sistemle yapılmıştır. Elektrotunun spesifik kapasitans değeri 1 A/g akım yoğunluğunda 9,84 F/g olarak hesaplanmıştır. Kararlılık testine tabi tutulan elektrotlarda sadece %5,75'lik bir kapasite azalması görülmüştür. Elde edilen veriler ışığında hazırlanan elektrotların ucuzluğu, düşük iç direnci ve kararlılığı nedeniyle enerji depolama alanında umut vaat ettiği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Süperkapasitör, Enerji Depolama, Aktif Karbon, Biyokütle.

## Production of a Supercapacitor for Energy Storage Using Mo-doped Microalgae

### Abstract

In order to meet the energy storage needs and overcome the disadvantages of conventional capacitors and batteries, intensive studies have been carried out on supercapacitors recently. In this study, Molybdenum was doped to *Microcystis aeruginosa*, a freshwater algae biomass, and activated carbon was produced by combining carbonization and activation methods. Produced activated carbons were converted into electrodes using sputtering method and a supercapacitor cell was prepared. Electrochemical tests of the electrodes were performed with a two-electrode system using 6 M KOH as the electrolyte. The specific capacitance value of the electrode was calculated as 9.84 F/g at a current density of 1 A/g. The electrodes subjected to the stability test showed only a 5.75% capacitance reduction. In the light of the results, electrodes prepared are thought to be promising in the field of energy storage due to their cheapness, low internal resistance, and stability.

**Keywords:** Supercapacitor, Energy Storage, Activated Carbon, Biomass.

\* Sorumlu Yazar: [muratakdemir@siirt.edu.tr](mailto:muratakdemir@siirt.edu.tr)

## 1. Giriş

Enerji depolama ihtiyacını gidermek ve geleneksel kondansatörler ve bataryaların dezavantajlarını aşmak için son zamanlarda süperkapasitörler üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır (Sakib et al., 2021; Tian et al., 2019). Süper kapasitörler, elektrikli çift katmanlı kapasitans (EDLC) ve psödokapasitans olmak üzere iki tür yük depolama mekanizmasına dayanır. EDLC mekanizmasında, elektrot ve elektrolitin sınır yüzeyinde çift bir yük tabakası oluşurken, psödokapasitif mekanizmada aktif malzeme bir faradaik redoks reaksiyonuna girer. Süper kapasitörler, yüksek güç yoğunluğu, mükemmel hız kapasitesi, uzun süreli ve kararlı çevrim ömrü gibi faydalı özelliklerinden dolayı elektronik iletişim, havacılık, elektrikli ulaşım vb. göze çarpan enerji depolama platformlarında kullanılmaktadırlar. Teorik olarak süper kapasitörler güvenilir enerji depolama sistemleri kaynağı olarak kanıtlanmış ve çeşitli uygulamalarda kullanılsa da, modern toplumun artan enerji talebini karşılamak için performanslarının hala daha fazla iyileştirilmesi gerekmektedir (Mohanty et al., 2021).

Elektrot malzemeleri süperkapasitör performansının belirlenmesinde en önemli rolü oynar. Süperkapasitörlerin elektrot malzemeleri genellikle karbon malzemeler, iletken polimerler ve metal oksitler/hidroksitlerden yapılmaktadır. Bunlar arasında, pil ve kapasitörlerin üretimi için en çok çalışılan ve uygulanan karbon bazlı malzemelerdir. Karbon bazlı malzemeler bol, düşük maliyetli, üretimi kolay, toksik olmayan, daha yüksek spesifik yüzey alanına sahip, iyi mekanik özellik, iyi elektronik iletkenlik, yüksek kimyasal kararlılık ve geniş çalışma sıcaklığı aralığı gibi birçok avantajlara sahiptirler (Pandolfo ve Hollenkamp, 2006; H. Wang ve Cui, 2019; Y. Wang et al., 2021). Literatürde karbon bazlı malzemeler kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Bolat ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada kalay katkılı mısır sapı Hidroklorik asit ile aktivasyon yapıldıktan sonra 45 dk 450°'de yakılarak aktif karbon üretilmiştir. Üretilen aktif karbonlar kullanılarak tasarlanan iki elektrotlu süperkapasitör hücresi için elektrotların spesifik kapasitansları yaklaşık olarak 146,25 F/g olarak elde edilmiştir (Bolat et al., 2021). Yürüm (2019) ayçiçeği saplarından aktif karbon üretmek için fiziksel ve kimyasal aktivasyonun bir kombinasyonu kullanılmıştır. Üretilen elektrotların spesifik kapasitansı 0,05 A/g akım yoğunluğunda 207 F/g olarak elde edilmiştir (Yürüm, 2019).

Selüloz, dünyada en bol bulunan yenilenebilir polimer ve biyokütle kaynağıdır. Bitkilerin ve alglerin hücre duvarlarının en önemli yapısal bileşenidir (Klemm et al., 2005). Molibden metali aktif karbonlara eklenerek malzemenin etkinliğini artırmak için kullanılmaktadır (Avcı Hansu et al., 2020). Bu çalışma kapsamında, diğer çalışmalardan farklı olarak ilk kez Molibden katkılı *Microcystis aeruginosa* mikroalg biyokütlesi kullanılarak aktif karbon üretilmiş ve bu aktif karbon kullanılarak çevre dostu bir süper kapasitör hücre tasarlanmıştır. Süperkapasitörün kapasitansı ve kararlılığı elektrokimyasal yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

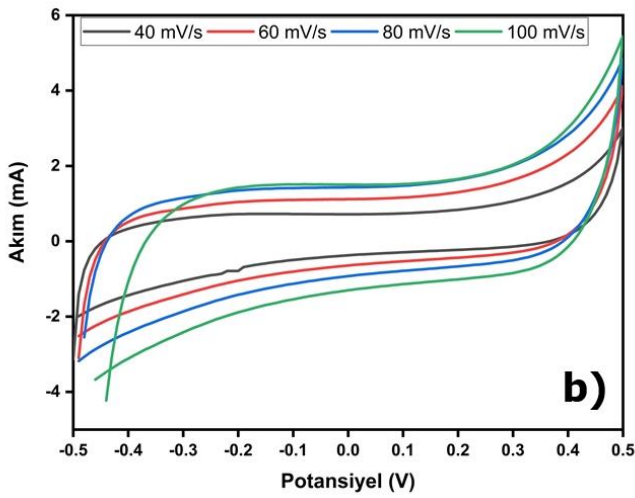
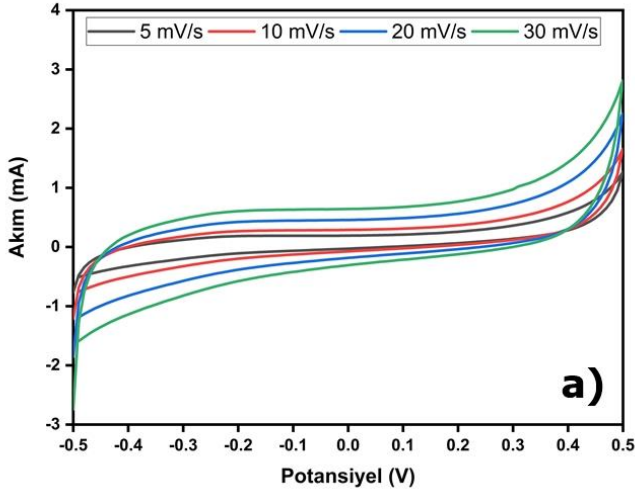
Temizlenmiş ve kurutulmuş *Microcystis aeruginosa*, 24 saat boyunca 80 °C'de 3 M HCl ile muamele edildi. Daha sonra saf su ile birlikte %30 (ağırlıkça) Mo<sup>2+</sup> (Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, Sigma

Aldrich 98%) metali ilave edildi. Daha sonra bu numune 400 °C'de 45 dakika fırında yakılarak aktivasyon ve karbonizasyon yoluyla aktif karbon elde edildi. Bu aktif karbon materyal, püskürtmeye uygun hale getirmek için bir havan kullanılarak ince bir şekilde öğütüldü. Aktif karbon üzerine iletkenlik artırıcı olarak nanotüp (%10 ağırlıkça) ve bağlayıcı olarak poliviniliden florür (PVDF) (%10 ağırlıkça) eklendi. Elde edilen karışım 10 dakika ultrasonik banyoda tutulduktan sonra manyetik karıştırıcıda 80 dakika karıştırıldı. Bulamaç daha sonra nikel köpüğün üzerine püskürtüldü. PVDF çözücüsü olarak kullanılan N-Metil-2-pirolidon'i uzaklaştırmak için nikel köpük fırında 80 °C'de 24 saat bekletilmiştir. Anot ve katot hücreleri, fırından çıkarılan nikel köpüğün eşit dairesel çaplarda kesilmesiyle hazırlanmıştır. Kağıt ayırıcı, her iki elektrot ve elektrolit çözeltisi olarak 6 M KOH, iki elektrotlu hücre konfigürasyonunu oluşturmak için sızdırmaz bir alüminyum test aparatına yerleştirildi. Hücrenin elektrokimyasal karakterizasyonu, galvanostatik şarj deşarj (GŞD), döngüsel voltametri (CV) ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EES) teknikleri kullanılarak oda sıcaklığında gerçekleştirildi.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

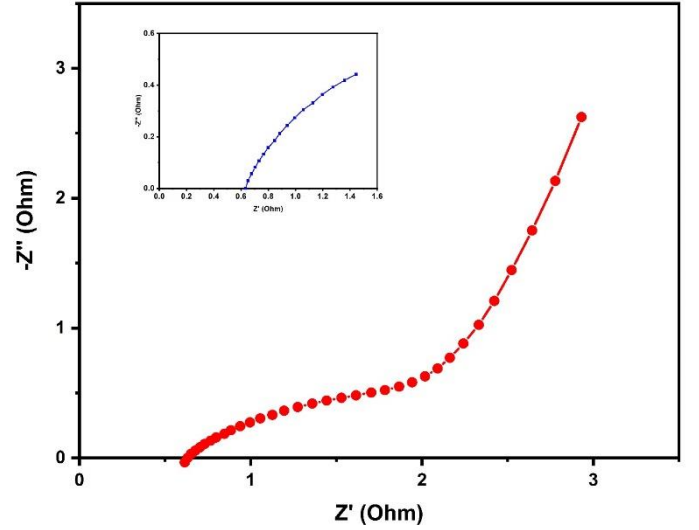
Molibden katkılı *Microcystis aeruginosa* kullanılarak hazırlanan aktif karbon kullanılarak 2 elektrotlu bir süperkapasitör tasarlanmıştır. Süperkapasitörün enerji depolama kapasitesi, kararlılığı ve enerji-güç yoğunluğu elektrokimyasal karakterizasyon sonucu elde edilen CV eğrileri, empedans eğrileri ve şarj-deşarj eğrileri kullanılarak belirlenmiştir. Şekil 1a,b'de kapasitöre ait 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, and 100 mV/s tarama hızlarındaki CV eğrileri verilmiştir. Kapasitörün CV eğrileri ideal eğrilere benzemektedir. Tarama hızları arttıkça CV eğrileri genişlemekte, fakat uç noktalarda sapmalar oluşmaktadır. Bu da elektrodun iç direncinden dolayı yüksek tarama hızlarında potansiyel düşümlerinin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Kullanılan aktif malzeme malzemede herhangi bir metal oksit veya polimer bazlı malzeme olmadığı için redox sapmaları oluşmamış ve tipik bir elektrik çift tabaka kapasitör özelliği sergilemiştir.



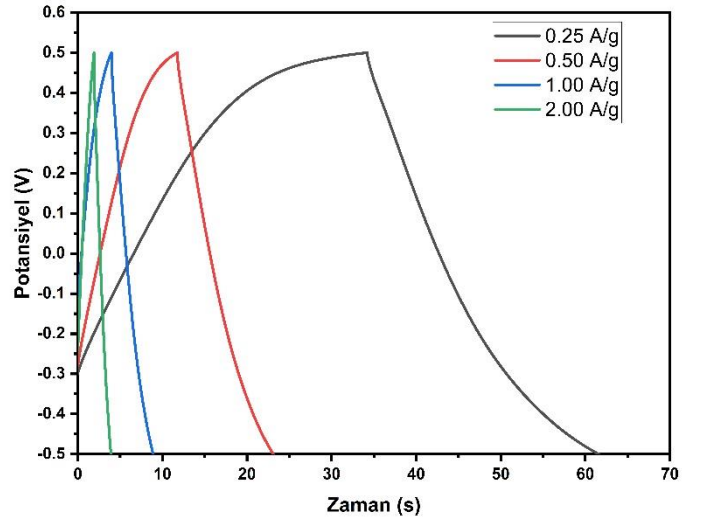


Şekil 1. Süperkapasitör hücresine ait farklı tarama hızlarındaki CV eğrileri

Elektrotların EIS analizi, 10 mV genlik ile 5 Hz ile 30 kHz frekans aralığında gerçekleştirildi ve Şekil 2'de verildi. Süperkapasitörün eşdeğer seri direnci  $R_s$  yaklaşık  $0.62 \Omega$  olarak ölçülmüştür.  $R_s$  direnci çok düşüktür ve bu düşük direnç değeri süperkapasitörün güç aktarımının yüksek seviyelerde yapılabilmesini destekler (Cheng et al., 2011; Yan et al., 2014). Orta frekans aralığındaki yarım daire çapı, arayüzey yük transfer direncini ( $R_{ct}$ ) değerlendirmek için kullanılır. Üretilen super kapasitörün  $R_{ct}$  direnci  $1.24 \Omega$  olarak hesaplanmıştır ve üstün bir yük transfer yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir (Zhu et al., 2018). Düşük frekanslarda, empedans eğrilerinin eğimi, elektrolit ile elektrot malzemesi arasındaki difüzyon direncinin olduğunu gösterir. Elektrotlar için eğim  $72^\circ$  olarak hesaplanmıştır ve bu değer elektrot malzemesinin elektrolit ile iyi bir etkileşime geçtiğini ve difüzyon direncinin düşük olduğunu göstermektedir (Gamby et al., 2001; Zhu et al., 2018).



Şekil 2. Hazırlanan süperkapasitöre ait empedans eğrisi



Şekil 3. Süperkapasitör hücresine ait farklı akım yoğunluklarındaki şarj-deşarj eğrileri

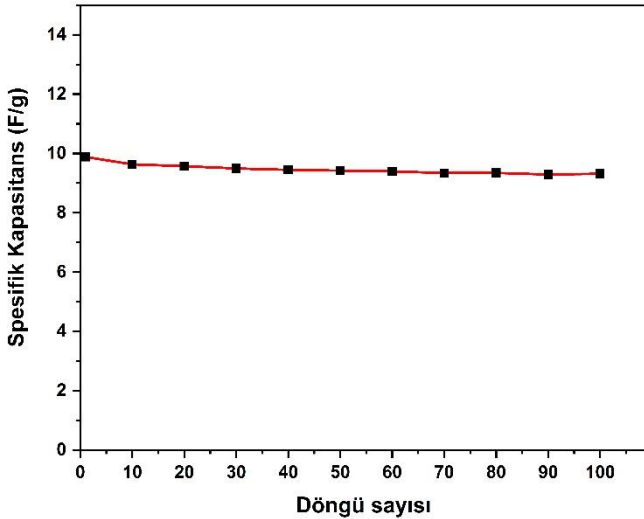
Hazırlanan elektrotların şarj-deşarj eğrileri galvanostatik şarj deşarj tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Hücreye ait farklı akım yoğunluklarındaki şarj-deşarj eğrileri Şekil 3'de verilmiştir. Şarj-deşarj eğrileri ideal süperkapasitör eğrileriyle benzerlik göstermektedir. Eğrilerin mükemmelliği, elektrot yüzeyleri ile elektrolit sıvısı arasındaki iyon değişiminin hızlı ve tersinir bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Deşarj işleminin başlangıcında  $0.25 \text{ A/g}$ 'da yaklaşık  $6 \text{ mV}$ ,  $0.5 \text{ A/g}$ 'da yaklaşık  $12 \text{ mV}$ ,  $1 \text{ A/g}$ 'da  $24 \text{ mV}$  ve  $2 \text{ A/g}$ 'da yaklaşık  $44 \text{ mV}$  IR düşüşü gözlemlenmiştir. Bu değerler hazırlanan elektrot malzemelerinin iç direncinin düşük olduğunu kanıtlamaktadır (Song et al., 2019). Elektrotların spesifik kapasitesi şarj-deşarj eğrileri kullanılarak Denklem 1 aracılığıyla hesaplanmıştır:

$$C = \frac{2 \cdot I \cdot \Delta t}{m \cdot \Delta V} \quad (1)$$

Burada  $I$ , akımı (A);  $\Delta t$ , deşarj süresini (s);  $\Delta V$ , uygulanan gerilim aralığını (V);  $m$ , bir elektrot üzerindeki aktif madde miktarını (g) belirtmektedir. Kapasitans değerleri  $0.25 \text{ A/g}$  için  $13,68 \text{ F/g}$ ,  $0,50 \text{ A/g}$  için  $11,34 \text{ F/g}$ ,  $1,00 \text{ A/g}$  için  $9,84 \text{ F/g}$  ve  $2,00 \text{ A/g}$  için  $8,04 \text{ F/g}$  olarak hesaplanmıştır. Elektrotların kararlılığını belirlemek için  $1 \text{ A/g}$  akım yoğunluğunda 100 döngülük şarj-deşarj analizi yapılmıştır ve sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. 100 döngü sonucunda elektrotlar ilk kapasitelerinin

%94,25'ünü halen sürdürmektedirler. Bu da üretilen elektrot malzemelerinin kararlı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Elektrotların kapasitans değerleri esas olarak kullanılan biyokütle malzemesinin tipine, biyokütlenin yakıldığı sıcaklığa, hazırlama yöntemine, aktivasyon maddesine, katkı maddesine ve kullanılan elektrolit tipine bağlıdır. Hazırlanan elektrotların kapasitans değeri, litaratüde çay atığı (Özarlan et al., 2021), pirinç kabuğu (W. Zhang et al., 2017), Spirulina platensis (Elma Karakaş et al., 2021), limon kabuğu (Mehare et al., 2021), kahve telvesi atığı (Akdemir et al., 2021), nilüfer kökü (Y. Zhang et al., 2017), fistic kepeği (Kang et al., 2018), Ceviz kabuğu (Lan et al., 2020), and lif kabağı süngeri (Luan et al., 2016) kullanılarak elde edilen aktif karbonlar kullanılarak hazırlanan elektrotların kapasitans değerlerine yakın değerler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında Molibden katkılı *Microcystis aeruginosa* kullanılarak hazırlanan elektrotların Mangan katkılı *Microcystis aeruginosa* kullanılarak hazırlanan elektrotlardan (Inal et al., 2021) daha düşük bir enerji depolama kapasitesine sahip iken kapasitans sürdürme açısından daha kararlı bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Süperkapasitör hücresine ait 100 döngülük şarj-deşarj sonrası kapasitans azalması

## 4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, tatlı su yosunu biyokütlesi olan *Microcystis aeruginosa*'ya Molibden katkılama yapılmış, karbonizasyon ve aktivasyon yöntemleri birleştirilerek aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen aktif karbonlar püskürtme yöntemi kullanılarak elektrotlara dönüştürülmüş ve bir süperkapasitör hücresi hazırlanmıştır. Elektrotların elektrokimyasal testleri, elektrolit olarak 6 M KOH kullanılarak iki elektrotlu bir sistemle yapılmıştır. Elektrotunun spesifik kapasitans değeri 1 A/g akım yoğunluğunda 9,84 F/g olarak hesaplanmıştır. Kararlılık testine tabi tutulan elektrotlarda sadece %5,75 lik bir kapasite azalması görülmüştür. Mangan katkılamanın Molibden katkılama göre kapasitans artırımı üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür. Elde edilen veriler ışığında hazırlanan elektrotların ucuzluğu, düşük iç direnci ve kararlılığı nedeniyle enerji depolama alanında umut vaat ettiği düşünülmektedir. Ayrıca farklı aktivasyon yöntemleri ve farklı yakma sıcaklıkları kullanılarak daha büyük kapasiteli elektrotların geliştirilebileceği düşünülmektedir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma Siirt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2020-SİÜMÜH-014 nolu proje ile desteklenmiştir. Siirt Üniversitesi Biyoteknoloji Laboratuvarına değerli katkılarından ve Siirt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne mali katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Akdemir, M., Avci Hansu, T., Caglar, A., Kaya, M., & Demir Kivrak, H. (2021). Ruthenium modified defatted spent coffee catalysts for supercapacitor and methanolysis application. *Energy Storage*, 3(4), e243. doi:<https://doi.org/10.1002/est2.243>
- Avci Hansu, T., Sahin, O., Caglar, A., & Kivrak, H. (2020). A remarkable Mo doped Ru catalyst for hydrogen generation from sodium borohydride: the effect of Mo addition and estimation of kinetic parameters. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 131(2), 661-676. doi:10.1007/s11144-020-01884-8
- Bolat, M., Yavuz, C., & Kaya, M. (2021). Investigation of dual-functionalized novel carbon supported Sn material from corn stalk for energy storage and fuel cell systems on distributed generations. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(13), 18123-18137. doi:10.1007/s10854-021-06356-w
- Cheng, Q., Tang, J., Ma, J., Zhang, H., Shinya, N., & Qin, L.-C. (2011). Graphene and nanostructured MnO<sub>2</sub> composite electrodes for supercapacitors. *Carbon*, 49(9), 2917-2925.
- Elma Karakaş, D., Akdemir, M., Atabani, A. E., & Kaya, M. (2021). A dual functional material: Spirulina Platensis waste-supported Pd-Co catalyst as a novel promising supercapacitor electrode. *Fuel*, 304, 121334. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121334>
- Gamby, J., Taberna, P., Simon, P., Fauvarque, J., & Chesneau, M. (2001). Studies and characterisations of various activated carbons used for carbon/carbon supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 101(1), 109-116.
- Inal, I. I. G., Akdemir, M., & Kaya, M. (2021). *Microcystis aeruginosa* supported-Mn catalyst as a new promising supercapacitor electrode: A dual functional material. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46, 21534-21541.
- Kang, W., Lin, B., Huang, G., Zhang, C., Yao, Y., Hou, W., . . . Xing, B. (2018). Peanut bran derived hierarchical porous carbon for supercapacitor. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(8), 6361-6368.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte chemie international edition*, 44(22), 3358-3393.
- Lan, D., Chen, M., Liu, Y., Liang, Q., Tu, W., Chen, Y., . . . Qiu, F. (2020). Preparation and characterization of high value-added activated carbon derived from biowaste walnut shell by KOH activation for supercapacitor electrode. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(21), 18541-18553.
- Luan, Y., Huang, Y., Wang, L., Li, M., Wang, R., & Jiang, B. (2016). Porous carbon@ MnO<sub>2</sub> and nitrogen-doped porous carbon from carbonized loofah sponge for asymmetric

- supercapacitor with high energy and power density. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 763, 90-96.
- Mehare, M., Deshmukh, A., & Dhoble, S. (2021). Bio-waste lemon peel derived carbon based electrode in perspective of supercapacitor. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(10), 14057-14071.
- Mohanty, A., Jaihindh, D., Fu, Y.-P., Senanayak, S. P., Mende, L. S., & Ramadoss, A. (2021). An extensive review on three dimension architectural Metal-Organic Frameworks towards supercapacitor application. *Journal of Power Sources*, 488, 229444.
- Özarslan, S., Raşit Atelge, M., Kaya, M., & Ünalın, S. (2021). A Novel Tea factory waste metal-free catalyst as promising supercapacitor electrode for hydrogen production and energy storage: A dual functional material. *Fuel*, 305, 121578. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121578>
- Pandolfo, A. G., & Hollenkamp, A. F. (2006). Carbon properties and their role in supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 157(1), 11-27. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.02.065>
- Sakib, M. N., Ahmed, S., Rahat, S. M. S. M., & Shuchi, S. B. (2021). A review of recent advances in manganese-based supercapacitors. *Journal of Energy Storage*, 44, 103322. doi:<https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103322>
- Song, X., Ma, X., Li, Y., Ding, L., & Jiang, R. (2019). Tea waste derived microporous active carbon with enhanced double-layer supercapacitor behaviors. *Applied Surface Science*, 487, 189-197.
- Tian, Y., Yang, X., Nautiyal, A., Zheng, Y., Guo, Q., Luo, J., & Zhang, X. (2019). One-step microwave synthesis of MoS<sub>2</sub>/MoO<sub>3</sub>@ graphite nanocomposite as an excellent electrode material for supercapacitors. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 2(1), 151-161.
- Wang, H., & Cui, Y. (2019). Nanodiamonds for energy. *Carbon Energy*, 1(1), 13-18.
- Wang, Y., Zhang, L., Hou, H., Xu, W., Duan, G., He, S., . . . Jiang, S. (2021). Recent progress in carbon-based materials for supercapacitor electrodes: a review. *Journal of Materials Science*, 56(1), 173-200.
- Yan, X., Yu, Y., & Yang, X. (2014). Effects of electrolytes on the capacitive behavior of nitrogen/phosphorus co-doped nonporous carbon nanofibers: an insight into the role of phosphorus groups. *RSC Advances*, 4(48), 24986-24990.
- Yürüm, A. (2019). Sunflower stalk based activated carbon for supercapacitors. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 47(3), 235-247.
- Zhang, W., Lin, N., Liu, D., Xu, J., Sha, J., Yin, J., . . . Lin, H. (2017). Direct carbonization of rice husk to prepare porous carbon for supercapacitor applications. *Energy*, 128, 618-625.
- Zhang, Y., Liu, S., Zheng, X., Wang, X., Xu, Y., Tang, H., . . . Luo, J. (2017). Biomass organs control the porosity of their pyrolyzed carbon. *Advanced functional materials*, 27(3), 1604687.
- Zhu, X., Yu, S., Xu, K., Zhang, Y., Zhang, L., Lou, G., . . . Shen, Z. (2018). Sustainable activated carbons from dead ginkgo leaves for supercapacitor electrode active materials. *Chemical Engineering Science*, 181, 36-45.



## Dome System in Sinan's Mosques

Esra Şahin<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Aydın University, Anadolu Bil Vocational School, Department of Construction Technology, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5842-9115), esrasahin3@aydin.edu.tr

(First received 15 October 2021 and in final form 15 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

**ATIF/REFERENCE:** Şahin, E. (2021). Dome System in Sinan's Mosques. *European Journal of Science and Technology*, (31), 498-504.

### Abstract

The Great Sinan, who was the chief architect during the three sultans of the Ottoman Empire (Sultan Suleyman the Magnificent, Sultan Selim II and Sultan Murat III); produced many works with different typological features such as mosques, madrasahs, primary schools, hospitals, palaces, aqueducts. Among these works, the mosque is the type of building that Sinan worked on the most. The structural system of Sinan mosques consists of the dome, dome transition elements (pendentive, squinch), arches and load-bearing walls. However, Architect Sinan applied multi-support systems with four, six and eight supports in terms of load-bearing system. The aim of this article is to relate some examples of square, hexagonal and octagonal supported support systems (Süleymaniye, Kadirga Sokullu Mehmet Pasha and Edirne Selimiye mosques) applied by Architect Sinan to the dome system. In the article, first of all, the literature research, the dome system in general and the dome technique used by Sinan were explained, then the dome of the mosque examples specified in different support systems were presented.

**Keywords:** Architect Sinan, Dome, Dome Transition Elements, Square, Hexagonal and Octagonal Support System.

## Sinan'ın Camilerinde Kubbe Sistemi

### Öz

Osmanlı İmparatorluğunun üç padişah devrinde (Kanuni Sultan Süleyman, Sultan II. Selim ve Sultan III. Murat) baş mimar olan Koca Sinan; başta cami olmak üzere medrese, sıbyan mektebi, darrüşifa, saray, su kemeri gibi farklı tipoloji özelliklerine sahip çok sayıda eserler vermiştir. Bu eserler içerisinde cami, Sinan'ın en çok üzerinde çalıştığı yapı türüdür. Sinan camilerinin strüktür sistemi kubbe, kubbe geçiş elemanları (pandantif, tromp), kemerler ve taşıyıcı duvarlardan oluşmaktadır. Ancak Mimar Sinan taşıyıcı sistem bakımından dört, altı ve sekiz destekli çoklu mesnet sistemi uygulamıştır. Bu makalenin amacı, Mimar Sinan'ın camilerde uyguladığı kare, altıgen ve sekizgen destekli mesnet sistemlerinden bazı örnekleri (Süleymaniye, Kadirga Sokullu Mehmet Paşa ve Edirne Selimiye camileri) kubbe sistemi ile ilişkilendirmektir. Makalede önce, literatür araştırması, genel olarak kubbe sistemi ve Sinan'ın kullandığı kubbe tekniği açıklanmış, sonra ise farklı mesnet sistemlerinde belirtilen cami örneklerinin kubbesi sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Mimar Sinan, Kubbe, Kubbe Geçiş Elemanları, Kare, Altıgen ve Sekizgen Destekli Mesnet Sistemi.

\* Corresponding Author: [esrasahin3@aydin.edu.tr](mailto:esrasahin3@aydin.edu.tr)



## 1. Introduction

Architect Sinan, who lived during the period when the Ottoman Empire had the largest lands, was appointed as the chief architect in 1539, upon the death of Alaeddin, who was known as the Chief Architect Acem Ali. He served as chief architect during Sultan Suleyman the Magnificent, Sultan Selim II and Sultan Murat III. He played a major role in designing and implementing architectural masterpieces that symbolized the power of the empire. Although, Sinan built many mosques during the Ottoman period, he produced many works such as small mosques, madrasahs, tombs, soup kitchens, hospitals, waterways, bridges, caravanserais, palaces, cellars and baths (Benian, 2011).

During the Ottoman period, many buildings with different typologies were built to meet the needs of the society. However, mosques, which are an indicator of the economic power of the state, as well as other types of buildings, came to the fore at that time. When the Ottoman mosques are examined, there is a development process in terms of architecture. It is seen that this process has reached its climax with the contributions of Architect Sinan. Sinan, who lived during the heyday of the Ottoman Empire in the 16th century, is the greatest master builder of Ottoman art (Benian, 2011). In the "agricultural order" architecture, where there are very limited conditions compared to today's technical possibilities, Sinan has become universal with his masterful solutions to the dome architecture and has made a great contribution to architecture (Benian, 2011).

The main building element used by Sinan, who built mosques in different parts of the empire, is the dome. Other structural elements are dome transition elements (pendentive, squinch), arches and load-bearing walls. The dome, which is the main element that also determines the plan in his mosques, is both a load-bearing element and an architectural element that dominates the outer of the building. The dome, located at the central point of the building, which also determines the urban silhouette of the cities in which it is located, is also an image in Sinan mosques (Erarslan, 2020). In his mosques, which are an important part of the architectural landscape, Sinan gave a new identity to the domed building tradition and developed an architectural style (Özer, 1987). It can be said that the domed structure has matured and gained a new meaning in the hands of Sinan.

The dome, which is a structural and symbolic cover, is the main architectural element in Sinan's buildings. The dome compositions that Sinan used in his mosques, where he made various experiments, are at the same time a form of space and mass (Necipoğlu, 2005). The homogeneity and formal simplicity of the dome contribute to the basic volumetric effect of space in his structures (Kuban, 1988).

In his mosques, Architect Sinan used dome variations of different scales and places of use. Each mosque, which has different structure and functional uses, has handled the dome and therefore the space differently (Erarslan, 2020). In this system, the dome was handled with a formalist attitude, which also determines the plan. Structural principles predominate in this design (Erzen, 1988).

The core of the space in Sinan mosques consists of a domed baldachin. Baldachin space is a space setup formed by the dome covering the space, sitting on different numbers and variety of bearing sitting on different numbers and variety of bearing. The plan and space developed around the baldachin. Architect Sinan

made many different structural experiments in mosques. He used multiple support systems such as four, six and eight supports in the dome system (Erarslan, 2020).

Similar studies in the literature are presented below:

Tuluk, 2006; the study includes the 15th century and 17th century where the domed middle space is expanding to the sides of the domed midwear in his article "Variations on The Square Based Baldachin Ottoman Mosques for The Concept of Space (15th and 17th Centuries)". At these historical intervals, he has created the plan schemes that encompass the square based baldachin. He categorized part of the structures that the main dome is partially on the wall and representing the passage of the baldachin.

Bilgin, 2006; "Structural Analysis of Domed Roof Systems in Architect Sinan's Works " has analyzed the dome of Architect Sinan mosques supported by the quadrilateral, hexagonal and octagonal support system under their self-weights with the "SAP2000" structural analysis program based on finite elements method. All models were established for above the levels where the arches are seated in the columns. The reason for this is to prevent confusion that may occur. As a result of the solution, he determined the mutual structural interaction of the main dome, the arch, half dome and pendants and revise the structural behavior of each system numerically.

Alioğlu and Köroğlu, 2010; "Modular System in Mimar Sinan's Mosques" in their study examined the relationship between the modular system and the mosque load-bearing system. The modular system was addressed from the architect Sinan period mosques, the Square Baldachin Scheme (Üsküdar Mihrimah Sultan, Süleymaniye and Kılıç Ali Pasha Mosque) and the presence of the modular system was questioned as a result of analytical studies.

Erarslan, 2018; it has examined the relationships between the load-bearing form, covering and spatial aspects of Architect Sinan's hexagonal baldachin system, as seen in the main spaces and adjacent areas of his Beşiktaş Sinan Pasha, Topkapı Kara Ahmet Pasha, Babaeski Semiz Ali Pasha, Fındıklı Molla Çelebi, Kazasker İvaz Efendi, Kadırga Sokullu Mehmet Pasha and Üsküdar (Nurbanu) Atik Valide mosques in the article "The Support, Cover and Spatial Relationship in the Architect Sinan's Mosques with the Hexagonal Baldachin System".

Erarslan, 2020; five mosques of Architect Sinan's square baldachin, single-dome mosques (Edirnekapi Mihrimah Sultan, Eyüp Zal Mahmut Pasha, Lüleburgaz, Sokullu Mehmet Pasha, Fatih Bali Pasha and Manisa Muradiye) has been selected in his article "Different Space Organization in The Square Baldachin Single-Domed Mosques Of Architect Sinan". It is in an effort to offer an analysis on the organization of the domed principal and auxiliary spaces in these structures.

This article investigates the use of the square, hexagonal and octagonal supported support systems and dome systems applied in Architect Sinan's mosques. As sample structures, Süleymaniye, Kadırga Sokullu Mehmet Pasha and Selimiye mosques were discussed, which is connected to the square, hexagonal and octagonal supported support systems.

## 2. Material and Method

### 2.1. The Dome System

The dome is achieved by spinning around the symmetry axis of a vault. The elements carrying the forces on positive double curvature surfaces are shells. The squinch, pendant and turkish triangle are the most common forms used as a transition element in the domed space cover.

The load of the dome transfers the vertical components of the support loads to the vault through the dome legs. The lateral components of the domes are taken with half vaults or buttresses placed in steep direction to the vault plane. The impulses in the vault plane of vertical loads are taken with tenters (Mahrebel, 2006).

In general, domes have static features of the arch. Dome requires a continuous bearing surface element in their support. Therefore, the dome is required to sit in a circular support. In the circular planned structures, it is possible to communicate the loads from the dome to the flat walls, to ensure the passage of the circle with the passage elements. These are pendant, squinch and turkish triangles (Armağan, 2012). The dome and passage elements are shown in Figure 1.

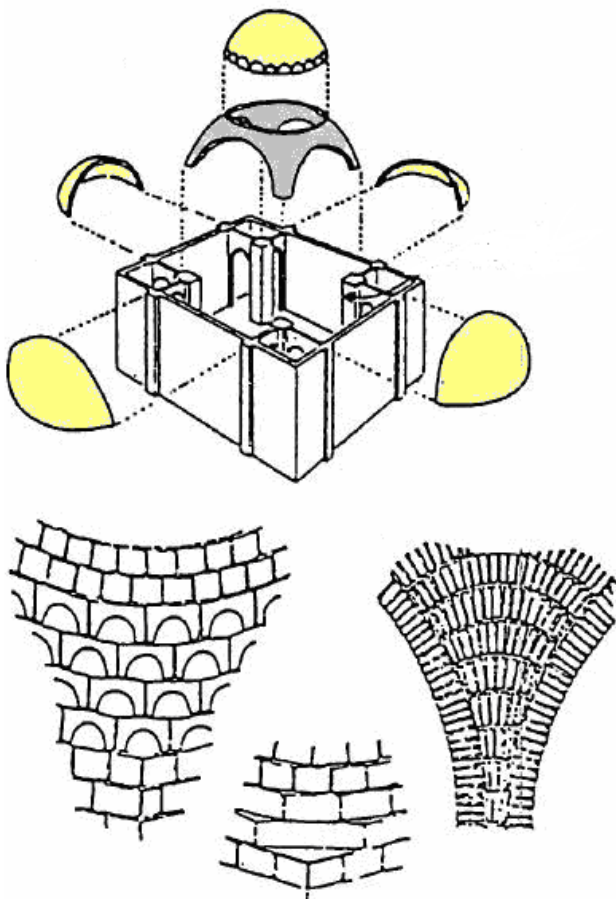


Figure 1. Dome detail with passage elements (Kara, 2009)

Dome is various in terms of construction. It is made as single section and double section. As a static calculation, a sphere from the wall resting on the tambour is part of it. Like walls, domes also show strength under compression. The construction technique is based on the assumption that the dome wall will remain under constant compression. The wall part where the

dome sits is called the tambour. The tambour is an important element that maintains the compression of the wall (Kara, 2009).

The load of the dome is transmitted from the dome legs to the arches resting on the vertical legs. The dome legs transmit the vertical components of the support loads to the arches. It transmits the lateral components to the semi-domes and buttresses placed perpendicular to the arch planes. The thrust forces caused by the loads transmitted to the arches from the dome in the arch plane can be taken with tensioners, as well as they are dropped into the core area of the legs by means of weight masses used as extensions of the legs (Kara, 2009). The load distribution of a dome is shown in Figure 2.

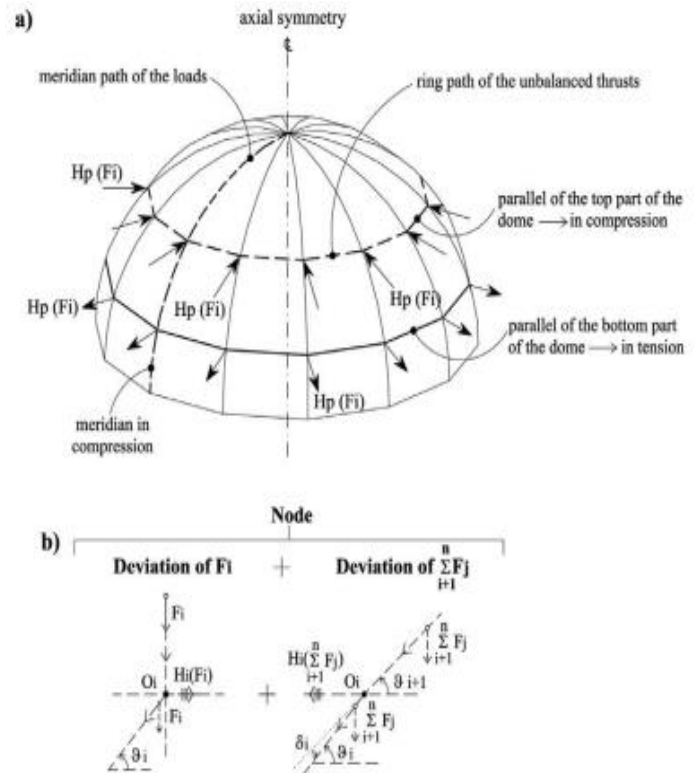


Figure 2. The load distribution in a dome (Palmisano, 2013)

The most important problem of domes is to support the inclined support forces that occur on their circular supports. At the supports, the force vector from the dome creates shear stress in horizontal. Horizontal shear force on tambour length creates tension force. The existence of tensile forces causes creep problem in the tambour. The greater the angle that the dome support force vector makes with the vertical, the more difficult it is to generate the stabilizing reaction force. The dome is directed to the direction of the support force vector, by using vertical gravity towers or by making supports and it is located in the building bearing plan (Armağan, 2012).

The dome is a global space system in terms of structure. The center of gravity is a point in space. The vertical diaphragm frames carrying the dome do not pass through the center of gravity of the dome. Although the frequency and acceleration values of building earthquake vibrations are the same as the dome at the beginning, they immediately change after the second period of the earthquake. The variation of earthquake structure frequency and acceleration values in the dome causes torsion (Armağan, 2012).

## 2.2. Sinan's Dome Technique

In Ottoman mosque architecture, the dome was accepted as the criterion of design, and at the same time, it was the starting point that directed the shaping of the building. In this context, it can be said that domes played the biggest role in the design of monumental mosques. In this regard, Architect Sinan was able to produce solutions that would leave the previous examples behind and make him reach his greatest desire. Thus, it has succeeded in bringing unique works to the history of world architecture (Benian, 2011).

Architect Sinan tried some formal arrangements in a way that would not spoil the geometric purity of the spherical half dome, and continued his work by increasing the aesthetic quality of these trials throughout his life. In his architecture, the dome formed the center of gravity of the structure, and the building structure was shaped in line with the support of the dome. The dome, which is the dominant element of the building, especially in monumental mosques, was not detached from the structure, but integrated with the building (Benian, 2011).

Considering the superstructure of Sinan's buildings centered around the main dome, the loads of the dome can be defined by passing through the various structural levels by means of supporting elements and auxiliary elements at the lower level. In addition, the support structural system from which the forces from the dome are transmitted can be explained. Sinan used three types dome support system in his works: square, hexagonal and octagonal (Bilgin, 2006).

Sinan used the dome in mosques, madrasas, baths and tombs structures with different construction techniques. This structural element carries its loads with the help of internal forces that spread uniformly throughout its thickness and act parallel to the average surface. Nowadays, it can be calculated theoretically and numerically the effect of loads on the dome and the internal forces with the help of shell theory (Bilgin, 2006).

The ratio of the dome height to its circular diameter is called flatness. The angle of the support force vector with the vertical increases as the flatness ratio decreases and the horizontal load value increases. As the flatness increases, the dome load increases and the angle of the force vector with the vertical decreases. In addition, the horizontal support load value decreases. Sinan's domes are among the flattest domes in history (Armağan, 2012). the dome flatness rates of Sinan structures are given in Table 1. In general, the dome flatness ratio of the Sinan period buildings varies between 0.30 and 0.448 (Çamlıbel, 1998). However, the dome flatness ratio in the mosque structure of the Haseki Complex, which is Sinan's first work in Istanbul, is around 0.480 (Şahin, 2021).

Sinan made structural changes to the dome tambour. The masonry of the dome walls starts with arches on the tambour. One-third of the dome wall height has turned into a tambour. The tambour is built as a zero joint stone wall. A separate load-bearing system is formed on the tambour. The plates form formed from one third of the height is in the form of a continuation of the dome wall. The tambour has been enlarged and raised. Forming the leg part in the form of the wall of the dome is important for the transfer of vertical and horizontal loads to the substrate. The leg part was the continuation of the dome. However, the vault system in its structure is for carrying the torsional moment. Torsions in the dome create horizontal shear stresses on the walls close to the tambour. Shear stresses create permanent deformations in the wall

of the dome. Permanent deformations cause dispersion in recurrent loads. The flexible structure of the vault system is made to prevent permanent deformations in the repeated effects of torsion (Armağan, 2012).

Table 1. The dome flatness rates in some structures belonging to Architect Sinan (Çamlıbel, 1998; Şahin, 2021)

Structure	The Dome Flatness Ratio
Süleymaniye Mosque	0.347
Üsküdar Mihrimah Mosque	0.385
Edirnekapı Mihrimah Mosque	0.333
Şehzade Mosque	0.366
Azapkapı Sokullu Mehmet Pasha Mosque	0.342
Edirne Selimiye Mosque	0.327
Haseki Sultan Mosque	0.480

## 3. Structural and Geometric Features of Architect Sinan Mosques

### 3.1. Square Support System: Süleymaniye Mosque

Architect Sinan built Süleymaniye Mosque in the name of Suleyman the Magnificent between 1550 and 1557. In this structure, he tried the dome and two half-domed plan scheme applied in Beyazıt Mosque. In Süleymaniye, he succeeded in creating a stronger interior place effect by using the technology of his age. Examining Hagia Sophia and Bayezid Mosque, Sinan sought the most suitable ratios for his new work. At the same time, the interior space and exterior mass effect were considered together. In Süleymaniye, the large dome was supported by two semi-domes in the direction of the entrance and the mihrab, resting on four large load-bearing pillars, and the half-domes were enlarged with two quarter-domes. The side sections were also covered with five domes, but instead of the monotony of equal domes, one big and one small dome created a different effect. Therefore, the dome in the middle is kept the same width as the domes in the corners, and the side sections are combined with the interior place (Benian, 2011). The dome of Süleymaniye mosque is showed in Figure 3. The plan schemes of the Süleymaniye mosque are given in Figure 4.



Figure 3. View of the dome of Süleymaniye mosque (Benian, 2011)





Figure 4. The plan schemes of the Süleymaniye mosque (Tuluk, 2006)

Süleymaniye Mosque is one of the buildings with the most advanced types of baldachin variations, with the middle space expanding to four directions and the corner spaces joining the main space. The finite element model of the mosque is indicated in Figure 5. The geometric properties of domed roof systems of Süleymaniye mosque, which has a square-supported support system, are given in Table 2.

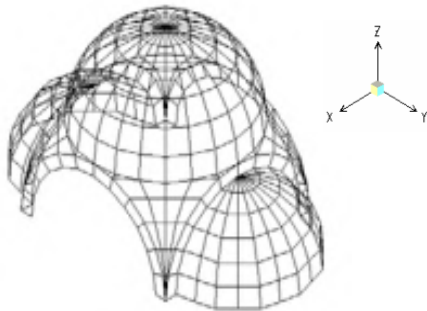


Figure 5. Finite element model in a square-supported support (Bilgin, 2006)

Table 2. Geometric features of domed roof systems supported with square support system in Süleymaniye mosque (Çamlıbel, 1998)

Main Dome Diameter (m)	Vault Thickness/ Without Semi-Dome (m)	Vault Thickness/ Semi-Domed (m)	Average Main Dome Thickness (m)
26.0	3.95	2.65	0.60

### 3.2. Hexagonal Support System: Kadirga Sokullu Mehmet Pasha Mosque

Architect Sinan applied a different structure program in the hexagonal baldachin in the Grand Vizier Sokullu Mehmet Pasha Mosque, one of the important grand viziers of the Kanuni Period, in Kadirga. The structure is the most mature of Sinan's hexagonal experiments and the mosque was built near the palaces of Sokullu in Kadirga. The building, which was built on the ruins of the famous Byzantine Great Palace in 1571, is on a hill extending in the east-west direction. It is also located on a hilly land in the oldest center of the city. In the complex, which consists of a mosque, a madrasa and a lodge, Sinan placed the complex structures at different levels by using the terracing method, which is the most effective method he applied in terms of urban space organization in the problematic land. The building, which shows Sinan's mastery in establishing the building-land relationship, has a perfect spatial integrity in terms of hexagonal domed design. The hexagonal system in the prayer area (harim) of the rectangular planned structure that develops transversely is completely integrated with the volume (Kuban, 2007). Sinan builds the hexagonal substructure in the building with six pillars that he connects with the walls in all directions. The plan scheme of the mosque is given in Figure 6.

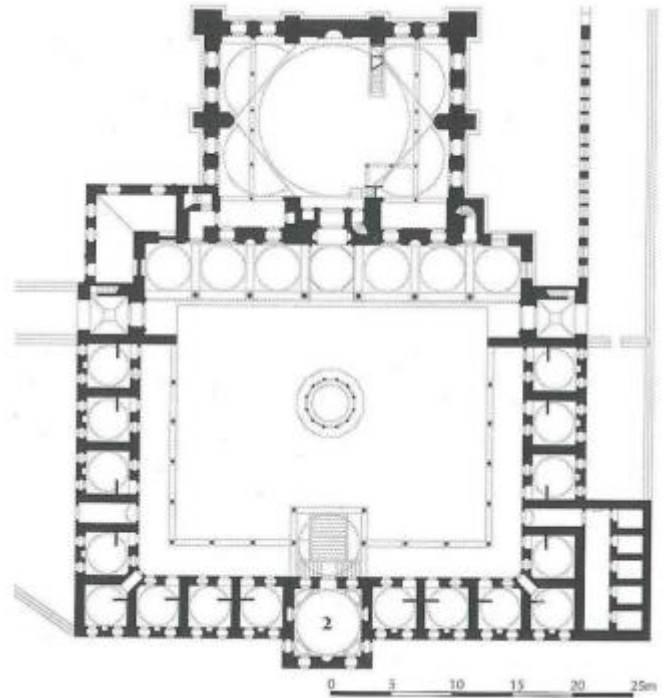


Figure 6. Plan scheme of Kadirga Sokullu Mehmet Pasha Mosque (Kuban, 2007)

The pillars are polygonal on the side walls and the qibla and the entrance are rectangular. The two side pillars on which the 13-meter-diameter and 22.80-meter-high dome sits are outside and protrudes into buttresses (Binan, 2016). Thus, the load-bearing system divides the walls of the building in all directions into three surfaces. The supporting pillars are connected to each other by exedra with windows inside and muqarnas. The middle volume formed under the dome is expanded to the sides by two-storey, narrow, low, high floor and flat ceilinged side galleries (Necipoğlu, 2005). These side mahfils, which provide a homogeneous spatial integrity with the main space, are placed in the depth of the exedra. The ratio and harmony in all elements and



units of the building strengthen the spatial and create a balanced and strong central spatial effect.

The finite element model of the mosque is showed in Figure 7. The geometric properties of domed roof systems of Kadirga Sokullu Mehmet Pasha mosque, which has a hexagonal-supported support system, are given in Table 3.

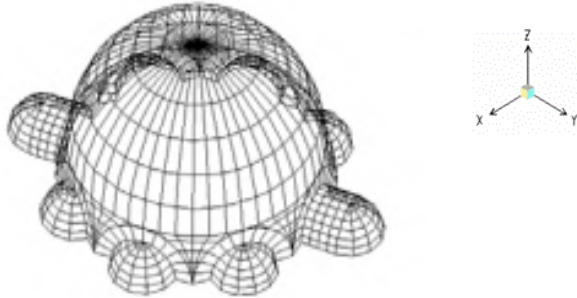


Figure 7. Finite element model in a hexagonal-supported support (Bilgin, 2006)

Table 3. Geometric features of domed roof systems supported with hexagonal support system in Kadirga Sokullu Mehmet Pasha mosque (Çamlıbel, 1998)

Main Dome Diameter (m)	Vault Thickness/ Without Semi-Dome (m)	Vault Thickness/ Semi-Domed (m)	Average Main Dome Thickness (m)
20.60	1.60	1.60	0.45

### 3.3. Octagonal Support System: Edirne Selimiye Mosque

The octagonal experience of Architect Sinan reached its zenith with the Selimiye Mosque in Edirne, which is considered the masterpiece of the Ottoman Empire and himself. Edirne Selimiye Mosque is the work of Sinan, in which he fully achieved his goal and his desire became reality. Selimiye, which was built between 1568 and 1575 during Sultan Selim II, stands out as an example where the unity of spatial under the dome was completely dissolved. The dome view of Selimiye mosque is shown in Figure 8.



Figure 8. Dome of Edirne Selimiye mosque (Benian, 2011)

In this structure, Sinan succeeded in gathering the congregation under the same dome and crossing a large opening with a single dome. The plan scheme of the mosque includes almost all geometric forms, unlike all the mosque plan schemes we have seen (Figure 9). The dome, which is approximately 43 meters above the ground and 31.5 meters in diameter, was transported with 8 big pillars. An even larger space was created with four exedra oriented towards the corners of the building. The rectangular scheme of the main space on the ground is provided by the lower level mahfil. At the level where the mahfils end, the plan has been transformed into a square. A smooth transition from square to octagon is ensured while preparing the round dome drum with exedra. The circle of the dome drum has reached the zero point with the dome with a diameter of 31.5 meters covering it. Architect Sinan also saved the building from monotony by moving the large dome onto a mobile body, whose change from rectangular to round is provided by smooth transitions, instead of placing it on four cubical inert walls (Benian, 2011).

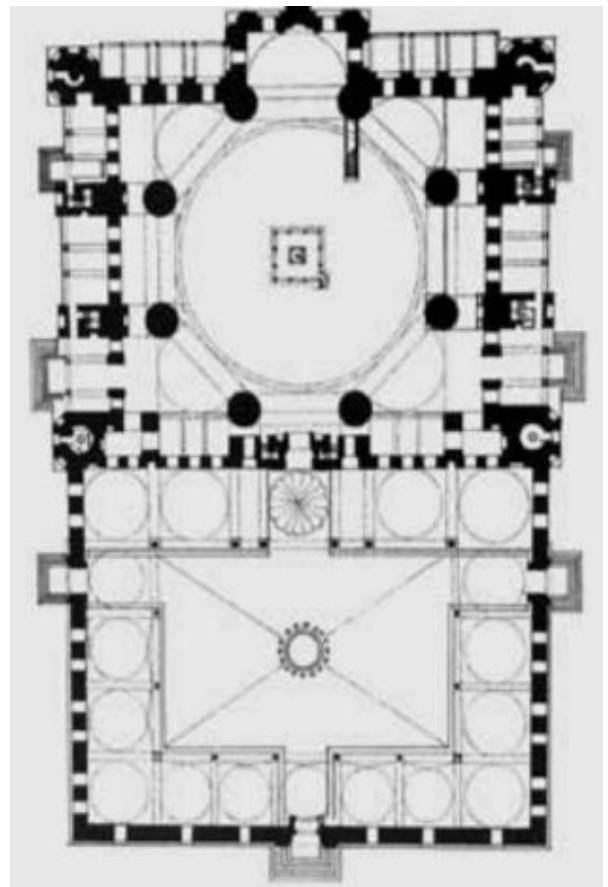


Figure 9. Plan scheme of Edirne Selimiye Mosque (Kuban, 2007)

The gradual rise of all structural elements from the ground to the main dome provides mobility inside the building as well as outside. In addition, the difference in size between the main dome and the semi-domes supporting this dome draws attention to the single dome both inside and outside the building. The minarets placed on the four corners of the main dome and the weight towers on the eight corners also have a great share in this impression (Benian, 2011).

The finite element model of Edirne Selimiye mosque is showed in Figure 10. The geometric properties of domed roof systems of the mosque, which has a octagonal-supported support system, are given in Table 4.

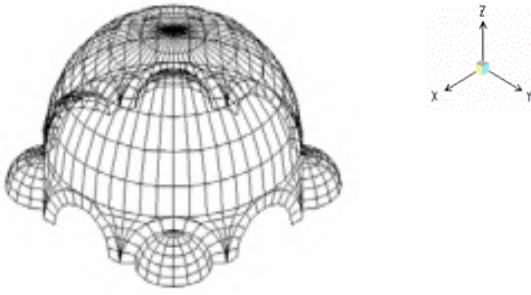


Figure 10. Finite element model in a octagonal-supported support (Bilgin, 2006)

Table 4. Geometric features of domed roof systems supported with octagonal support system in Edirne Selimiye mosque (Çamlıbel, 1998)

Main Dome Diameter (m)	Vault Thickness/ Without Semi-Dome (m)	Vault Thickness/ Semi-Domed (m)	Average Main Dome Thickness (m)
31.50	2.35	2.35	0.60

## 4. Conclusions

Architect Sinan, who uses the same elements in every building but makes different experiments, shows this feature both in the baldachin setup and the side space organization around it. The search for new forms created by Sinan with existing architectural elements has always continued. It manifests itself in the balance structures between the spatial setup and the main structure, cover elements and mass organization. The relationship between bearing system, cover, main space and side space is designed in harmony in all of his buildings and represents Sinan's creativity.

Sinan's architecture is not a creation out of nothing, on the contrary, the competence and creativity in bringing the existing together astounds. He constructs different constructs in every structure of his observations and experiences. This is especially evident in the octagonal support system dome composition.

The most important physiognomic element used by Sinan, who created a new urban environment with his buildings, to achieve this goal is the domes. He brought new visual dimensions to Turkish mosques and cities with the "Sinan's idea" that the buildings created with the understanding of plan and mass.

## References

Alioğlu, E., F., and Köroğlu N., (2011). "Modular System in Mimar Sinan's Mosques" Papers Produced from PhD Theses Presented at Institute of Science and Technology, Yıldız Technical University, Sigma 3, 331-340.

Armağan, K., (2012). "The Research of Functionality Used in Historical Buildings" Master of Science Thesis, Department of Civil Engineering, Eskişehir Osmangazi University, 44-51.

Benian, E., (2011). "Mimar Sinan ve Osmanlı Cami Mimarisinin Gelişimindeki Rolü" Bilim Teknik Dergisi, 40-47.

Bilgin, S., (2006). "Structural Analysis of Domed Roof Systems in Architect Sinan's Works" J. Fac. Eng. Arch. Selcuk University, v.21, n.3-4, 119-128.

Binan, D., (2016) "Sokullu Mehmet Paşa Camii", Mimar Sinan'ın İstanbul'u, Editör: Tülay Taşdemir, Türkiye Turing ve Otomobil Kurumu, İstanbul, 324-330.

Çamlıbel, N., (1998). "Sinan Mimarlığında Strüktürün Analitik İncelenmesi"; Yıldız Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yay., İstanbul, 630s.

Erarslan, A., (2018). "The Support, Cover and Spatial Relationship in the Architect Sinan's Mosques with the Hexagonal Baldachin System" Journal of Ottoman Legacy Studies (JOLS), Volume 5, Issue 13, November 2018, pp. 31-48.

Erarslan, A., (2020). "Different Space Organization In The Square Baldachin Single-Domed Mosques Of Architect Sinan" Turkish Studies, 15(2), 943-958.

Erzen, J., (1988). "Sinan as Anti-Classicist." Muqarnas 5: 70-87.

Kara H., G., (2009). "Tarihi yağma yapılarının taşıyıcı sistemleri özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri" Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kuban, D., (1988). "Sinan'ın Dünya Mimarisindeki Yeri." Mimar Başı Koca Sinan. Yaşadığı Çağve Eserleri. İstanbul: TC Vakıflar Genel Müdürlüğü. 581-624.

Kuban, D., (2007). "Osmanlı Mimarisi" İstanbul: Yem Yayınları.

Mahrebel H., A., (2006). "Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri" Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Necipoğlu, G., (2005). "The Age of Sinan: Architectural Culture in the Ottoman Empire" Princetonand Oxford: Princeton University Press.

Özer, B., (1987). "The Architect of Domed Mosques as a Master of Pluralism." Environmental Design: Journal of the Islamic Environmental Design Research Centre 1-2. (Der.) AttilioPetruccioli, Rome: Carucci. 146-155.

Palmisano F., (2013). "Interpretation of the behaviour of masonry arches and domes by simple models" Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XIII, 233-244.

Şahin E., (2021). "Structural Assessment of Haseki Sultan Mosque" Ejons International Journal on Mathematics, Engineering- Natural Sciences 17, p. 44-57.

Tuluk, Ö., I., (2006). "Osmanlı Camilerinde Mekan Kurgusu Açısından Kare Tabanlı BaldakenVaryasyonları" Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 21/2: 275-284.



# Efficiency Analysis of Granted Agricultural Projects

Gulay Ozkan<sup>1\*</sup>, Ismail Bulent Gurbuz<sup>2</sup>, Nezhil Erdem Bedel<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Bursa Uludag University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, Bursa, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6878-1673), [gulayozkan@uludag.edu.tr](mailto:gulayozkan@uludag.edu.tr)

<sup>2</sup> Bursa Uludag University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, Bursa, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5340-3725), [bulent@uludag.edu.tr](mailto:bulent@uludag.edu.tr)

<sup>3</sup> Bursa Uludag University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, Bursa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3546-5794), [501813003@ogr.uludag.edu.tr](mailto:501813003@ogr.uludag.edu.tr)

(First received 15 October 2021 and in final form 2 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010172)

**ATIF/REFERENCE:** Ozkan, G., Gurbuz, I. B. & Bedel, N. E. (2021). Efficiency Analysis of Granted Agricultural Projects. *European Journal of Science and Technology*, (31), 505-514.

## Abstract

IPARD (Instrument for Pre-Accession Assistance Rural Development) Programme supports small and medium-sized enterprises to achieve long-term economic sustainability, ensure stringent quality control, assist the sector's adaptation, and compete in the domestic market. This research aimed to unveil the distinct characteristics of the managers and enterprises of agricultural producers who have received support from the Program. Thus, the effectiveness of the Program in Bursa was questioned. Ninety-seven enterprises that received support from IPARD I and IPARD II were interviewed. Data analysis was performed using the SPSS 25 Program. The vast majority of applicants were men (78.4%). Although nearly half of the applicants (43.3%) were university graduates, the education of 83.5% was not related to the sector applied. 76.3% of them had not received any relevant training or course, and 40.2% had 1-5 years of experience in the profession. 84.5% of IPARD applications were new companies. Applications were evenly distributed between natural and legal entities. Of the investors applying, 59.8% had no non-agricultural income. ARDSI (58.8%) and past investors' feedback (30.9%) effectively informed potential applicants. Meat and milk-producing enterprises benefited the most from the Program; milk processing enterprises benefited the least. 72.2% of the projects were large-capacity enterprises, and 92.8% had not increased capacity. The monthly agricultural net income of 32% of the enterprises receiving support was 20 001 TL and above. The company's plans included maintaining its current status (25.7%) and investing in additional machinery and equipment without increasing capacity (25.7%). 89.7% of the participants follow rural development activities.

**Keywords:** Agriculture and Rural Development, Grant, Agricultural Entity, IPARD, Quality, Sustainability.

## Hibe Kapsamında Verilen Tarımsal Projelerin Etkinlik Analizi

### Öz

IPARD (Katılım Öncesi Yardım Aracı Kırsal Kalkınma) programı küçük ve orta ölçekli işletmelere, uzun dönemde ekonomik sürdürülebilirliği sağlamaları, tüm üretim aşamalarında sıkı bir kalite ve hijyen denetimi uygulamaları ve bu sayede sektöründeki adaptasyonuna katkıda bulunmak ve iç pazarda daha kolay rekabet etmelerini sağlamak için destek olmaktadır. Bu araştırmada Programdan destek almış olan tarımsal üreticilerin programa başvuran yöneticileri ve işletmelerin demografik özellikleri ile birlikte işletme ve sektör ile ilgili bilgiler araştırılarak Programın Bursa İlindeki etkinlik derecesi değerlendirilmiştir. Araştırmada IPARD I ve IPARD II kapsamında destek alan 97 adet işletme ile görüşülmüştür. Veri analizi SPSS 25 Programı aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Başvuru sahiplerinin büyük çoğunluğunun erkektir (%78.4). Başvurusu sahiplerinin yaklaşık yarısı (%43.3) üniversite mezunu olmakla birlikte %83.5'nin eğitimi proje için başvuru alan sektörle ilgili değildir. %76.3'ü ise ilgili herhangi bir eğitim veya kurs almamıştır ve %40.2'simin meslekteki tecrübeleri 1-5 yıl arasındadır. IPARD başvurularının % 84.5'ü yeni şirketlerdir. Başvurular gerçek ve tüzel kişiler arasında dengeli bir şekilde dağılmıştır. Başvuru yapan yatırımcıların %59.8'inin tarım dışı geliri yoktur. Hibe destekleri hakkında ilgilendirmede TKDK (%58.8) ve hibe desteği almış yatırımcıların bilgilendirmesi (%30.9) etkili olmuştur. Programdan en çok et ve süt üreten işletmeler en az ise süt işleyen işletmeler faydalanmıştır. Projelerin %72.2'si büyük kapasiteli işletmeler olup %92.8'i kapasite artırımına gitmemiştir. Destek alan işletmelerin % 32'sinin aylık tarımsal net geliri 20 001TL ve üstündedir. İşletmenin gelecekle ilgili planları arasında öncelikli olarak mevcut durumunu koruyarak faaliyetlerini sürdürmek (%25.7) ve kapasite artırımını yapmadan ilave makine ekipman yatırımı yapmak (%25.7) bulunmaktadır. Katılımcıların % 89.7'si kırsal kalkınma faaliyetlerini takip etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Tarım ve Kırsal Kalkınma, Hibe, Tarımsal İşletme, IPARD, Kalite, Sürdürülebilirlik.

\* Corresponding Author: [gulayozkan@uludag.edu.tr](mailto:gulayozkan@uludag.edu.tr)



## 1. Introduction

Starting with the Turkey - European Community (EC) Association Agreement signed in 1963, Turkey's relations with the European Union (EU) financial aid have continued for more than fifty years. After gaining the nomination status, there was an increase in Turkey's amount and scope of financial assistance. These benefits provided in many different areas were collected under a single heading by the Council Regulation on pre-accession financial aid for Turkey No. 2500/2001 of 17 December 2001. The EU has made significant changes to the budget for 2007-2013. Financial assistance previously allocated from various programs for the candidate and potential candidate countries has been collected under one roof, under the Instrument for Pre-accession Assistance (IPA) name.

The IPARD (Instrument for Pre-accession Assistance Rural Development) program, the fifth component of IPA, plans to implement the *acquis* on the EU Common Agricultural Policy and the sustainable management of the agricultural sector and rural areas in the candidate countries to comply with the EU *acquis*. The IPARD program supports the enterprises engaged in primary agricultural production and processing of these agricultural products. It aims to help such enterprises to reach Community standards on the issues of productivity, quality, quality management, hygiene and food safety, animal welfare, veterinary controls, environmental protection (water use, fertilizer and nitrate pollution management) and occupational safety. The IPARD Program supports small and medium-sized enterprises to overcome the economic sustainability threshold in the long term. The Programme implements strict quality and hygiene control in all processing stages, thus contributing to their adaptation in the sector and enabling them to compete more effectively in the domestic market.

Success in achieving the goals set by the IPARD Program in Turkey will be beneficial for the competitiveness of agricultural enterprises and the improvement of working and living conditions in rural areas. It is vital that the IPARD program, which provides opportunities for solving rural development problems, is expanded throughout the country and that the funds allocated are used efficiently. The developments provided with IPARD supports will play an essential role in decoupling the differences in development between regions and sectors and leading to EU membership (Bedel, 2019).

The Agriculture and Rural Development Support Institution (ARDSI) is responsible for implementing the IPARD Program. As of 30 August 2011, ARDSI completed the accreditation and authorization transfer process carried out by the European Union Commission and started to provide IPARD supports. The second period of the Program (IPARD II), which covered the budget period 2014-2020 and whose last Call was made in 2021, has been continued by making several changes under the same primary goals mentioned above as in the previous Program. Bursa, one of the provinces where the Program was implemented, has been selected as a research area. One of the main factors in choosing Bursa province is the high potential of agricultural production, especially processing primary agricultural products such as milk, meat, fruits and vegetables, concerning the sectors included in the IPARD Program. The variety of local products such as olives, olive oil, Kemalpaşa dessert, Gedelek pickle, Iznik tiles and the availability of both sea and mountain rural tourism opportunities have also been other influential factors (Ozkan & Kadagan, 2019).

There are few studies in the literature on the benefits of IPARD Projects to companies, their satisfaction and project outcome. Gülçubuk et al. (2018) and Olgun and Sevilmiş (2017) examined the effects of rural development support at the national level. Toker and Karlı (2021) tested the effects of the IPARD Program on the fruit growing sector in Isparta province. Koç and Giray (2016) investigated dairy cattle enterprises thoughts about IPARD project support in Yozgat and Sivas provinces. Beşen et al. (2020) in Antalya province, Aydın et al. (2019) in Edirne province examined the factors affecting producers drip irrigation support.

Factors affecting the utilization of investors from rural development projects, aspects that are disrupted in the implementation of projects and manufacturers' satisfaction levels have been studied in the Karaman (Demirbük & Ayyıldız, 2021), Isparta (Özkul & Bozkurt, 2020), Afyonkarahisar (Yardımcı, Ari, & Aslan, 2018), Denizli (Akın, 2016), Çanakkale (Tan et al. 2018), Konya (Örs & Oğuz, 2019) and Mardin (Aslan, Demirhan, & Ertaş, 2016) (Cihangir, Bilgiç, & Aba, 2015), as well as in the Gulf of Edremit (Zengin & Savgın, 2016) and the Western Mediterranean Region (Taşcıoğlu & Sayın, 2017).

The only research available for Bursa province was conducted by Çobanoğlu et al. (2017). The authors evaluated the impact of the "Supporting Machinery and Equipment Purchases (SMEP)" subprogram within the scope of the Rural Development Investment Support Program, identified problems and presented solution suggestions. Manufacturers who received and did not receive support from the SMEP subprogram were compared based on various parameters.

The scope of the current research has been kept more comprehensive. Measures 101, 103 and 302 in the IPARD I and IPARD II programs were included in the study with all their subcategories. The primary purpose of this research is to create a general framework for businesses that have received support in Bursa province, one of the 42 provinces where the IPARD I and IPARD II program has been implemented. For this purpose, we investigated the demographic characteristics of the business managers interviewed within the scope of the project and the investment and sector characteristics of the enterprises.

The current research will guide potential investors, local managers responsible for rural development and policymakers in relevant ministries.

## 2. Material and Method

### 2.1. Population and Sample

According to 2018 Turkish Statistical Institute (TUIK) data, the population of Bursa was 2 994 521 people (Turkstat, 2018a). The total agricultural area, excluding meadows and pastures, was 3 040 038 decares (Turkstat, 2018b). Bursa province received accreditation in the second phase period among 42 provinces where the IPARD Program was implemented. 185.99 million TL investment was made in Bursa, where 81.47 million TL grant support was provided to 213 projects in total, based on the years 2012-2016. Bursa is in 13th place among 42 provinces in terms of the number of grants paid. As of May 2019, 253 projects were carried out, and 88.3 million TL support was paid to these projects.



IPARD I and IPARD II Programs for Bursa were taken together, and 247 projects were included in the sample. In order to determine the study sample, a homogeneous purposeful sampling method was used. Purposive sampling is a sampling method in which there is no probability effect. It allows for a more detailed examination by selecting vital areas as data. This method is preferred when working with notable cases with specific criteria or certain qualifications. The purpose of homogeneous sampling is to conduct an in-depth analysis by selecting a small and similar sample (Başaran, 2017).

Within the scope of the IPARD I Program in Bursa, a total of 73 projects and local products supported by 101 and 103 Measures and 16 projects that received support from 302 Measures, rural tourism sub-measures were included in the scope of the study. In addition, a total of 8 projects have been selected that have received support from the relevant sectors from the IPARD II Program and whose payment has ended. Due to the small population, a complete count method was applied. Accordingly, the total sample volume was determined to be 97.

There were 22 questions in the questionnaire about the demographic characteristics of the participating individuals and companies and general information about the project. The survey was conducted face-to-face for 97 projects included in the sampling between January 2018 and February 2019. Most of the questions in the survey required single-choice answers. Only for 'the future investment plans of the project owners,' participants could select multiple options).

## 2.2. Data Analysis

We used the SPSS package program version 25 to analyze the participants' data, performed reliability analysis and normality test, and created cross tables. The Cronbach's alpha value of the scale was 0.902. Cronbach's Alpha being ( $\alpha \geq 0.90$ ) confirms that the survey is "highly reliable". We also performed a Shapiro-Wilk test to test the normality assumption. The analysis showed that ( $D(97)p = 0.877$ ,  $p > 0.05$ ); the data did not show a normal distribution. Therefore, we used skewness and kurtosis values. We found the skewness values of -0.040 (SE = 0.148) and the kurtosis values of -0.173 (SE = 0.342). Tabachnick and Fidell (2013) stated that the skewness and kurtosis values of +1.5 and -1.5 met the normality assumption, so we accepted that the data were distributed normally.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Demographic Characteristics of the Participants

We examined the demographic characteristics of the participants of the supported enterprises and the general characteristics of the projects in Bursa. The demographic characteristics are shown in Table 1.

In the IPARD I Program, the priority of the *female* applicant in the ranking criteria was insufficient. This setback has been compensated in the IPARD II Program, and priority was given to women's applications. Since this research mainly covered companies participating in the first budget period program, this setback is apparent in the demographic data, and a large percentage of investors are men. We expect an increase in the number of women entrepreneurs in the second budget period (IPARD II) with the rise in the number of projects and additional

points to be given to female applicants. There are 21 females (21.6%) and 76 (78.4%) male project owners in 97 projects. It is believed that the male project owner ratio is high for the reasons mentioned above. This result is similar to the studies conducted by Türkan and Değirmenci (2017), Çimen (2017) and Koç (2016).

The number of projects in the *age* groups in Table 1 shows that 52.7% of the project owners are 45 and younger. One of the factors determining the grant rate according to the IPARD program was the applicant's age. Being under 40 in the 101 measure increased the grant rate by 5%; in the 302 Measure, the ranking score increased by 5-15 points. The age criterion considers the applicant's age in natural persons and the person authorized to represent in legal entities. Of the projects covered by the study, 61.9% of the Measures were from Measure 101, 18.5% were from Measure 302. Measure 101 and 302 made up 80.4% in total. Despite this, the percentage of young farmers is low compared to expectations. The distribution of age groups is generally balanced show similarities with the studies conducted by Tan et al. (2018), Çimen (2017), Asoğlu and Binici (2015) and Koç (2016). In contrast, a study by Türkan and Değirmenci (2017) showed that the age groups of KOSGEB support beneficiaries were relatively younger. The application criteria between the programs may cause this difference.

In terms of *marital status*, there are 88 married (90.7%) project owners but only nine single (9.3%) project owners. Tan et al. (2018) reached similar findings in a study on manufacturers who received machine equipment support within the framework of the IPARD Program in Çanakkale province.

*Educational status* shows that more than 65% of the project beneficiaries are high school, associate and undergraduate graduates.

Since the projects within the scope of the study are predominantly from 101 Measures, we expected that the *legal status* of the project applicants would be natural persons at a high rate. However, in terms of the legal status of the project owners, it is approximately in half.

Table 1. Demographic characteristics of the participants

		N	%	Cumulative %
Gender	Female	21	21.6	21.6
	Male	76	78.4	100.0
Marital status	Married	88	90.7	90.7
	Single	9	9.3	100.0
Age	≤ 25	2	2.1	2.1
	26-35	18	18.6	20.7
	36-45	31	32.0	52.7
	46-55	35	36.1	88.8
	56 ≤	11	11.3	100.0
Education	Primary School	12	12.4	12.4
	Secondary School	19	19.6	32.0
	High School	24	24.7	56.7
	Undergraduate	40	41.2	97.9
	Graduate	2	2.1	100.0
Total		97	100.0	

These findings align with the studies conducted by Gülçubuk et al. (2018) and Koç (2016). In the study of Türkan and Değirmenci (2017), the ratio of natural persons was higher, on the

contrary, in another study conducted by Çimen (2017) and Özdemir (2014), the proportions of legal entities were higher. According to the application criteria in the region, province and given supports, the legal and natural person ratios may vary.

### 3.2 Applicant and Project Characteristics

#### 3.2.1. Types of Businesses Involved in the Project and Supported Sectors

The distribution of the projects covered by the study by the *enterprise type* showed that 82 new (84.5%) and 15 existing business (15.5%) applications benefitted from IPARD Projects (Table 2). These findings are supported by the studies conducted by Çimen (2017) and Koç (2016). In contrast, a study conducted by Taşcıoğlu and Sayın (2017) found that the proportion of existing businesses was higher. This difference may occur due to the application criteria given priority in the support program.

Applying as an existing business in the IPARD ranking criteria has started to provide an advantage to applicants from the second phase of the Program. In the IPARD II, 1. and 5. Calls of the 101 Measure, 20 points were granted to the existing enterprises in the ranking criteria. For the 103 Measure, 40 points were granted to the existing enterprises during the 1. 2. and 5. Calls. However, in the IPARD I period, no ranking advantage was provided for the existing business applications.

Additionally, some sub-sectors, existing enterprises and capacity-building enterprises have not received support during the IPARD II budget period. For example, there was no support given to new and existing enterprises in the poultry meat production sector that increased their capacity in Bursa. In addition, new businesses and capacity increase were not supported in red meat and poultry meat processing and poultry meat shredding projects. Since most of the projects covered by the study are IPARD I period projects, 84.5% of the projects supported were new businesses. Accordingly, in the IPARD I budget period, especially existing enterprises engaged in primary agricultural production and process agricultural products in Bursa province have not benefited enough from these projects to reach community standards. We anticipate that there will be an increase in the ratio of existing enterprises supported during the IPARD II period.

Examination of the data obtained in the study shows that meat and milk producing enterprises are dominant in terms of the supported sectors. The number of projects in milk processing, meat processing and fruit and vegetables, which require relatively high investment costs, is at lower levels. Although the budget differences between the measures in the IPARD Program were not very large, the differences in the investment budgets per Call may cause these differences. Likewise, the higher grant rates allocated to investments in dairy and meat producing enterprises in Measure 101 may have increased the demand for these sectors.

There was no vast difference in the allocation of the budgets in the IPARD Program between the measures. On the other hand, the allocated budgets per project differed when we compared the measures, particularly the 101 and 103 Measures. The maximum eligible expenditures were €1 million in Measure 101 and €3 million in Measure 103. Therefore, the number of projects in the 101 Measure, which had lower investment costs, should be higher. The number of projects in milk processing, meat processing and fruit and vegetables, which require relatively high investment costs, is at lower levels. Further, the higher grant rates

in the 101 Measure may increase the demand for investments in dairy and meat producing enterprises. As a result, we can say that in the distribution of the sectors supported within the scope of the research, the enterprises that produce meat and milk, that is, the projects belonging to the 101 Measure, are predominant.

Table 2. Types of businesses involved in the project and supported sectors.

		N	%
Enterprise Type	New	82	84.5
	Existing	15	15.5
Business Entity	Normal Person	47	48,5
	Legal Person	50	51,5
Supported Sectors	Milk Producing Agricultural Holdings	25	25.8
	Red Meat Producing Agricultural Holdings	35	36.1
	Processing and Marketing of Milk and Milk Products	2	2.1
	Processing and Marketing of Red Meat and Meat Products	5	5.2
	Processing and Marketing of Fruits and Vegetables	12	12.4
	Crafts and Artisanal Added Value Product Enterprises	11	11.3
	Rural Tourism and Recreational Activities	7	7.2
	Total	97	100

#### 3.2.2. Capacities and Locations of Supported Enterprises

We examined the enterprises' *installed capacities* after receiving the grant support after completing the project application and becoming operational. These capacities are categorized into low, medium, and high capacity groups. When grouping, we took the means values of the minimum and maximum rates of the IPARD Program-specific eligibility criteria. Accordingly, 6.2% of the research subject projects are low-capacity, 21.6% medium and 72.2% high capacity (Table 3).

The results show that enterprises with high installed capacity make a significant part of the IPARD project applications. These findings are similar to the studies conducted by Çimen (2017) and Koç (2016).

There were sector-specific *capacity criteria* in the IPARD Program. It has been aimed to increase the number of projects with lower capacity and budget, especially from the 14th Call of the IPARD I budget period and onwards. Thus, it would enable more investors to benefit from the allocated budget, and support would be extended to the sector base following the general objectives of the IPARD Program. For this purpose, arrangements have been made to allocate additional points to low-capacity projects in the ranking criteria in the IPARD I budget period, 14th Call for the 101 Measure. IPARD II budget period further expanded this allocation. From the 14th Call of the IPARD II budget period, criteria for budget and installed capacity was established for Measures 101 and 103. Priority was given to low-budget and low capacity projects.

Table 3. The capacities of the supported enterprises and their distance from the centre

		N	%
Installed Capacity	Low	6	6.2
	Medium	21	21.6
	High	70	72.2
Have you made a capacity increase?	Yes	7	7.2
	No	90	92.8
Distance to the Provincial Centre	In the Provincial Centre	2	2.1
	≤ 25 km	9	9.3
	25–50 km	13	13.4
	50–75 km	36	37.1
	75 km ≤	37	38.1
Distance to the District Centre	In the District Centre	8	8.2
	≤ 10 km	25	25.8
	10–20 km	32	33.0
	20–30 km	21	21.6
	30 km ≤	11	11.3
Do you live in the same county as your business?	Yes	61	62.9
	No	36	37.1

Accordingly, a significant part of the projects consists of enterprises operating at high installed capacity within the limits of the IPARD Program. Investors seem to prefer investments with the highest possible capacity, as it is a more efficient and grant-supported investment opportunity as far as their financial means allow. Thus, especially in the IPARD 1 budget period, high-capacity projects were supported, and fewer investors could benefit from the allocated budget.

Already the data on monthly agricultural net income also confirm this situation. The ARDSI, the Institution that implements the support program, noticed this problem, have taken corrective action. After that, it will be likely that projects with lower capacity and budgets will come to the fore within the Program to be implemented.

We questioned whether there were *capacity increases* after receiving grant support and found no capacity increase at a very high rate of 92.8%. It is not easy to find sufficient financing for additional investments such as capacity increase after the project has consequently become operational. This rate has been relatively high. Although Koç (2016) gave a lower rate in his study, he made similar comments to these observations mentioned.

Another factor that affects the grant rates of projects that would receive support from the IPARD Program was whether the *investment land was located in a mountainous area*. "Mountainous Area" is defined as an area located at a minimum altitude of 1000 meters or at an altitude between 500 and 1000 meters and having a minimum slope of 17% (IPARD Programme). Villages and neighbourhoods that meet the mentioned mountainous area criteria are constantly updated and published on the official websites of ARDSI and the Ministry Of Agriculture and Forestry. In projects that meet the mountainous area criterion in 101 Measure, a grant rate increase of 10% is provided in the IPARD I program and 5% in the IPARD II program. Further, the investments made in mountainous areas in the projects in the 302 Measure gain additional points in the ranking criteria. Due to low altitude, the province and many district centres of Bursa are not considered mountainous.

Resultingly, the projects within the scope of the study are concentrated in areas far from these centres.

Of the institutions involved in the project, 75.2% are located more than 50 km from the provincial centre, and 65.9% are located more than 10 km from the district centre (Table 3).

Similarly, in the Tan et al. (2018) research, investors reside within the borders of the same district.

### 3.2.3. Sectoral Experiences and Educational Qualifications of the Participants

The *professional experience* of the project owners of the study is shown in Table 4. The highest rate is 40.2% for those with 1-5 years of professional experience. The fact that entrepreneurs who have just entered the profession apply to these programs and get involved in the project shows that new entrepreneurs are more open to taking risks and developing than experienced entrepreneurs. New entrepreneurs follow the relevant projects, do not get tired of the necessary paperwork and application procedures. At the same time, entrepreneurs who have gained experience in other fields may want to expand their businesses towards these areas with the help of IPARD grants.

In addition, the survey participants were asked whether they had *formal education* (high school or university) *related to the sector* in which their businesses operate, and 83.5% of them stated that they had no education. Further, the project owners were asked whether they had received vocational training or courses related to the sector in which their businesses operate. Again, the vast majority (76.3%) declared that they did not take a course. The findings prove that the IPARD Program has failed to reach an investor's target with sufficient and relevant education for the relevant sectors in Bursa.

There is a professional qualification requirement among the general eligibility criteria for the IPARD Program 101 Measure. This condition has also been applied for Measures 103 and 302 until the 12th call period of the IPARD I Program. To comply with the professional qualification requirement of the Program, the applicant (if the applicant is a natural person by the applicant if the applicant is a legal entity by the authorized representative) must have an agricultural vocational high school, vocational school or university diploma (including master or doctorate). Alternatively, prove their competence with a minimum of three years of work experience in agriculture or other related specialities, which the relevant national registration systems can document. Individuals considering investing may be inclined to apply to provide this professional qualification criterion as a legal entity. In addition, in the criteria for ranking the 302 Measures for the IPARD II budget period, an additional 15 points are given if the applicant has a professional certificate, diploma or three years of experience in economic activity. For these reasons, the rate of natural person applications has been realized in half, less than the expectations. In addition, since one of the options to meet the vocational qualification requirement was a diploma, project owners were expected to have **diplomas** from the relevant professional branches to a significant extent. However, only 16.5% of the investors have formal education related to the sector, and 23.7% have vocational training or course certificates.

The findings on professional education are similar to the study conducted by Özdemir (2014). Contrarily, the professional experience periods of the business owners who have received support, whether they have received a professional certificate or



a course, differ in the current research. (Tan et al. 2018; Çimen, 2017; Özdemir, 2014; Akın, 2016; Taşcıoğlu & Sayın, 2017; Koç 2016). These differences may result from the different scope of the support program, application requirements, supported regions and sectors.

Table 4. Sectoral experiences and educational qualifications of the participants

		N	%	Cum. %
Professional Experience (Years)	1-5	39	40.2	40.2
	5-10	17	17.5	57.7
	10-15	16	16.5	74.2
	15-20	11	11.3	85.6
	20+	14	14.4	100.0
Do you have formal education related to the sector?	Yes	16	16.5	16.5
	No	81	83.5	100.0
Have you attended a vocational education or a course?	Yes	23	23.7	23.7
	No	74	76.3	100.0

### 3.2.4. Income Status of the Participants

In 71.1% of the supported enterprises, the top manager is the project owner, in 18.6%, it is a family member of the project owner, and in the remaining 10.3%, it is one of the other third parties (Table 5). The current findings related to the enterprise's top management are in line with the findings of Kandemir, Baykut and Avcı (2017) and Çimen (2017).

We asked the project owners if they had non-agricultural income. Table 5 shows that 59.8% of the project owners have no income from non-agricultural activities. In other words, only 40% of the project owners make a living only through agricultural activities. Further, a significant majority of those with non-agricultural income also have a monthly net income of TL 10,000 and below.

Table 5. Income status of the participants

		N	%	Cum %
Who is the head of the business?	Myself	69	71.1	71.1
	Someone From a Family	18	18.6	89.7
	Other	10	10.3	100.0
Do you have non-agricultural income?	Yes	39	40.2	40.2
	No	58	59.8	100.0
Monthly Non-Farm Net Income (TL)	≤ 5 000	15	15.5	75.3
	5 001-10 000	11	11.3	86.6
	10 001-15 000	3	3.1	89.6
	15 001-20 000	5	5.2	94.8
	20 001 ≤	5	5.2	100.0
Monthly Agricultural Net Income	≤ 5 000	5	5.2	5.2
	5 001-10 000	19	19.6	24.7
	10 001-15 000	23	23.7	48.5
	15 001-20 000	19	19.6	68.0
	20 001 ≤	31	32.0	100.0

Findings regarding *non-agricultural income* may vary according to the sectors region and amount of the grant. For example, 61.3% of the producers receiving drip irrigation support in Antalya have an income other than agriculture (Beşen et al., 2020), 82.93% of those benefiting from drip irrigation support in Edirne have non-agricultural income (Aydın et al. 2019). On the other hand, 36% of the enterprises that received machine equipment support in Çanakkale had non-agricultural income (Tan et al., 2018). Further, 47.1% of dairy enterprises that benefited from IPARD Projects in Afyonkarahisar had non-agricultural income (Yardimci, Ari, & Aslan, 2018).

The *monthly agricultural net income* status of the enterprises supported under the IPARD Program was investigated. The results given in Table 4 show that the highest rate (32.0%) in the monthly agricultural net income data is in the highest income group, and the lowest rate (5.2%) is in the lowest income group. 72.2% of the enterprises receiving support within the scope of the study have a high installed capacity. The fact that 72.2% of the enterprises receiving support have high capacity according to IPARD specific eligibility criteria as installed capacity leads to this monthly distribution of net agricultural income.

### 3.2.5. Monthly Net Income Distribution based on Sectors

Table 6 shows the distribution of the monthly net income of the businesses receiving support based on the sectors in which they operate. The companies with revenues of TL 15,000 and below mainly belong to the dairy and meat producing sectors in Measure 101. Higher investment costs necessary for milk processing, meat processing, fruit and vegetable processing enterprises mainly in 103 Measure were expected to have a higher monthly income. The research results reflected this expectation.

### 3.2.6. Information Resources of the Participants

Regarding ARDSI grant support, 58.8% of the investors who participated in the survey *received information* from ARDSI introductory meetings, and 30.9% from investors who had previously received grant support. The remaining few investors also received information from the Provincial or District Agricultural Directorates, the institutional website, newspaper advertisements and brochures (Table 7).

ARDSI publicity meetings and investors who had previously received support have effectively informed about IPARD Program grants in Bursa. Here, it is seen that ARDSI has carried out an effective promotional meeting process in Bursa and that the projects that have been carried out by receiving grant support and are in operation are pretty effective in guiding and encouraging new investors.

In many studies (Tan et al. 2018), Iovaand Cretu, 2017; Kadiroğlu & Türko, 2018; Akın, 2016; Koç, 2016), the distribution of news sources of grant support varies widely. The difference may occur due to many parameters like the process management of the Institution responsible for the management of support, the content of the support program, the region and sectors supported. The majority of the project owners (89.7%) stated that they follow the rural development activities in Turkey. This result is similar to the study conducted by Akın (2016).



Table 6. Monthly net income distribution of enterprises based on sectors

No	Sectors	≤ 5 000	5 001-10 000	10 001-15 000	15 001-20 000	20 001 ≤	Total
1	Milk Producers	1	13	3	3	5	25
2	Red Meat Producers	3	3	16	7	6	35
3	Milk and Milk Prod. Processors	0	0	0	1	1	2
4	Red Meat and Meat Prod Processors	0	0	0	0	5	5
5	Fruits and Vegetables	0	0	1	5	6	12
6	Crafts and Artisanal Product	0	1	2	2	6	11
7	Rural Tourism	1	2	1	1	2	7
Total		5	19	23	19	31	97

Table 7. Information resources of the participants

		N	%
Where did you get information about grant supports?	ARDSI Promotional Meetings	57	58.8
	Newspapers, advertisements, brochures	1	1.0
	The Institutional Website	4	4.1
	From Investors Who Have Received Grant Support	30	30.9
Do you follow the rural development activities?	Provincial or District Agricultural Directorates	5	5.2
	Yes	87	89.7
	No	10	10.3

### 3.2.6. Future Investment Plans of Enterprises

The project owners participating in the study were asked about their future investment plans for their businesses, and it was stated that they could mark multiple options. The results obtained are given in Table 9 through Table 9.

The previous section (Table 3) stated that investors mostly applied for large-scale IPARD Projects, and almost all of the investors did not increase capacity within the project. The findings obtained from this section confirm this previous finding. We see that (Table 8) investors mainly apply to projects to maintain their current operations. Since investors are already applying for these projects using their maximum financial means, they are deciding to maintain their current business situation in the future. Another equivalent response is that investors are considering investing in additional machine equipment without increasing capacity. Accordingly, the idea

### 3.2.7. Distribution of Future Investment Plans of Enterprises by Sectors

Table 8 shows the plans of investors receiving IPARD support by sectors. Among the agricultural enterprises producing milk, 68% want to "continue their activities while maintaining the current situation", while 60% want to "Invest in additional machinery and equipment without increasing the capacity". Only 44% of the investors in this sector want to increase their business capacity. In meat-producing agricultural enterprises, 57.1% wanted to "continue their activities while maintaining their current status", while 51.4% chose to "increase capacity". While half of the milk processing companies want to maintain their current status, half want to invest in additional machinery and equipment without increasing capacity. It is alarming that half of the milk processing companies want to invest in a different sector in a different address.

All of the enterprises operating in the red meat and meat processing sector want to invest in additional machinery and

of preserving the current situation of investors and making only needed machinery and equipment investments came to the fore at the first stage. The desire not to make additional investments due to financing difficulties in the initial stages of the new post-investment operating period is understandable (Gurbuz & Ozkan, 2019).

During these periods, it should be taken into account the possibility that a significant part of the income of enterprises is used to cover financing expenses such as investment loans. However, the number of investors who plan to increase capacity is also 46. Accordingly, investors want to increase their capacity to the extent that the IPARD capacity limits are insufficient, and the current financing situation is significantly higher.

equipment without increasing the capacity. 80% of them want to improve production without increasing capacity. The sector most willing to increase capacity is the fruit and vegetable sector, where 83.3% of investors want to increase their operating capacity in the future. The upper limit of IPARD capacity in the vegetable sector is 10,000 m<sup>3</sup>, and the volume of work is above the current capacity of most of the companies in the sector. The upper limit of IPARD capacity in the vegetable sector is 10,000 m<sup>3</sup>, and the volume of work is above the current capacity of most of the companies in the sector.

Local craftsmen and artisans primarily aim to maintain the current state and invest in additional machinery and equipment without increasing capacity (Gurbuz, Erol, & Yavuz, 2002). Most enterprises want to invest in equipment and services in the rural tourism sector without increasing capacity. All in all, in sectors with relatively higher monthly net incomes, enterprises plan capacity growth at a more significant percentage in their investment plans. In comparison, those with relatively lower incomes tend to maintain the current situation.

*Table 8. Distribution of future investment plans of enterprises by sectors*

What are your future plans?	Sectors*							Total	%
	1	2	3	4	5	6	7		
To increase the business capacity	11	18	0	1	10	3	3	46	21.1
To invest in additional machine equipment without increasing capacity.	15	16	1	5	6	8	5	56	25.7
To improve production without increasing capacity.	8	4	0	4	3	3	5	27	12.4
Setting up a business in the same sector at a different address.	4	2	0	2	2	0	1	11	5.0
Setting up a business in a different sector at a different address.	5	11	1	0	2	1	2	22	10.1
Maintaining the current state of the enterprise and continuing activities as usual.	17	20	1	2	3	9	4	56	25.7
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>35</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>218</b>	<b>100.0</b>

\*The numbers that sectors stand for are given in Table 6.

### **3.2.8. Distribution of Future Investment Plans of Enterprises by Net Income per Month**

The results of monthly net revenues (Table 9) show that, as predicted, enterprises with monthly net income of TL 15 thousand and above mostly plan to increase business capacity.

Maintaining the enterprise's current state and continuing activities and investing in additional machinery and equipment without increasing capacity are included in the plans of all enterprises regardless of the profit made almost at an equal rate.

It is common in all sectors for enterprises with relatively higher incomes to plan to increase future capacity. However,

the primary purpose of the IPARD Projects was to ensure rural development. Rural development will be achieved by expanding the industry, creating new enterprises of all sizes, investing in technology that improves the quality and range of products offered and increasing production capacity in large companies and small businesses. However, in the current situation, the plans of small and medium-sized manufacturers who benefit from IPARD Projects are more conservative. These projects primarily provide large-scale investors with the opportunity to make a growth plan for the future. Of course, during the current project periods, how investors perceive the economic situation in the country and the agricultural and trade policies implemented can also affect their business plans.

*Table 9. Distribution of future investment plans of enterprises by net income per month*

	Monthly Agricultural Net Income					Total
	≤ 5 000	5 001-10 000	10 001-15 000	15 001 - 20 000	20 001 ≤	
To increase the capacity of the business.	1	8	9	12	16	46
To invest in additional machine equipment without increasing capacity.	3	9	15	12	17	56
To improve production without increasing capacity.	1	7	4	3	12	27
Setting up a business in the same sector at a different address and investing in it.	0	4	0	2	5	11
Setting up a business in a different sector at a different address and investing in it.	0	3	7	6	6	22
Maintaining the current state of the enterprise and continuing activities as usual.	3	12	14	11	16	56
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>19</b>	<b>23</b>	<b>19</b>	<b>31</b>	<b>97</b>

## **4. Conclusions and Recommendations**

The EU has collected financial aid for a candidate and potential candidate countries under one roof under the name of the Pre-Accession Assistance Instrument (IPA). The main goal of these financial aids is to support projects that serve the needs and priorities of candidate countries towards becoming members of the community and facilitate compliance with the EU acquis through these projects and create the administrative capacity necessary for this compliance. The IPARD II Program is currently being implemented in 42 provinces in Turkey.

The results revealed that most of the project owners supported in Bursa live in the same district where the

investment was made. They have no income outside the agricultural activity, follow the rural development activities, own the enterprises, manage and apply to the grant. These findings show that the beneficiaries of the IPARD Program can reach the intended target audience of the Program in Bursa. However, the Program has not reached the female investors and young entrepreneurs who are given priority. However, a significant proportion of project owners have relatively high educational levels. At this point, the addition of age criteria to the priority ranking criteria of the Program will further encourage young investors.

Most of the projects have high capacity and income within limits set by the IPARD Program. Nevertheless, new investment plans such as capacity growth are less than the expected level

due to financial sustainability concerns of the applicants.

The Program failed to reach the target investors with the desired education and training relevant to the supported sector in Bursa province, where there were predominantly 101 measures. How the investor perceives the impact of the support program is a rather complicated situation. In summary, from the enterprises that have received support in Bursa province, the legal entities with high monthly net income and the highly educated project owner have benefited more.

We recommend that investors be more informed about the main goals and objectives of the IPARD Program in natural person enterprises, enterprises with low monthly net incomes and beneficiaries with low educational levels, particularly for Bursa province.

## References

- Akın, O. (2016). Rural development potential of Denizli province in respect to Instrument for Pre-accession Assistance Rural Development Programme (IPARD) of the EU. *Pamukkale University Journal of Social Sciences Institute*, 25(1), 340-356.
- Aslan, S., Demirhan, Y., & Ertaş, M. (2016). EU pre-accession assistance for rural development component (IPARD I) and the effect to the province of Mardin. *Journal of Academic Approaches*, 7(1), 232-254.
- Asoğlu, V., & Binici, T. (2015). Evaluation of economic investments of RDISPs: Şanlıurfa and Diyarbakır example. *Electronic Journal of Social Sciences*, 14(52), 221-230. doi:10.17755/esosder.26433
- Aydın, B., Öztürk, O., Çebi, Ü., Özkan, E., & Özer, S. (2019). Factors affecting the utilization from drip irrigation subsidies of the farmers in Edirne province. *Soil Water Journal*, 8(2), 87-95.
- Başaran, Y. K. (2017). Sampling theory in social sciences. *Asos Journal the Journal of Academic Social Science*, 5(47). doi:10.16992/ASOS.12368
- Bedel, N.E. (2019). A field study on concept of rural development, quality and sustainability in the agricultural enterprises which supported by agriculture and rural development support institution (province of Bursa), Bursa Uludağ Üniversitesi (Unpublished Master Thesis). Bursa.
- Beşen, T., Sayın, B., Çelikyurt, M. A., Kuzgun, M., Yılmaz, Ş. G., Bahçeci, M., & Aydın, B. (2020). Determination of factors affecting the receiving drip irrigation support of producers in Antalya province. *KSU Journal of Agriculture and Nature*, 23(6), 1578-1586. doi:10.18016/ksutarimdogu.vi.652397
- Cihangir, H., Bilgiç, B., & Aba, T. (2015). The impact of IPARD machinery and equipment supports on Mardin's agriculture. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 11(1), 25-31.
- Çimen, A. O. (2017). A survey on the contributions of IPARD Programme to the economy (Unpublished Master Thesis). Ankara University, Ankara.
- Çobanoğlu, F., Tunaliğlu, R., Yılmaz, H. İ., Bozkıran, S., Nalbantoğlu, A., & Yıldız, H. (2017). Assessment of impact of rural development investments support programme: evidence from Bursa region. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 14 (01), 16-27.
- Demirbük, M., & Ayyıldız, B. (2021). Evaluation of the factors affecting benefiting from the grant program in rural development projects, case study of sarıveliler, Karaman province. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 36, 34-44.
- Gülçubuk, B., Köksal, Ö., Ataseven, Y., Gül, U., & Kan, M. (2018). Effects of rural development supports at the national level: Examining of Agriculture and Rural Development Support Institution (ARDSI)'s Projects. *TEAD*, 2,(1), 1-10.
- Gurbuz, I., Erol, A. O., & Yavuz, O. (2002). Dünya'da ve Türkiye'de kırsal turizm. Türkiye V. Tarım Ekonomisi Kongresi 18-20 Eylül 2002. Erzurum, Türkiye.
- Gurbuz, I. B., & Ozkan, G. (2019). What's going on at the universities? How much has the research revealed university students' attitudes towards the environment? a case study of Bursa, Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 5109-5138. doi:10.15666/aeer/1702\_51095138
- Iova, A. R., & Cretu, D. (2017). The impact of the European funds on the development of the rural area. Case study. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 17(2), 87-192.
- Kadiroğlu, A., & Türko, E. S. (2018). Project process in companies that received grants from regional development agency financial support programmes: Nada case. *Journal of Business Economics and Management Research*(2), 49-70.
- Kandemir, T., Baykut, E., & Avcı, A. (2017). An assessment of small and medium enterprises development organization (KOSGEB) incentives from the perspective of support receiving organizations (TR33 region implementation). *Optimum Journal of Economics and Management Sciences*, 4(1), 97-114. doi:10.17541/optimum.285228
- Koç, A. (2016). IPARD in funding rural development in Turkey on the path towards EU (Unpublished PhD Thesis). Süleyman Demirel University, Isparta.
- Koç, A., & Giray, F. H. (2016). Dairy cattle entrepreneurs' opinion on IPARD project supports. *12. National Agricultural Economics Congress*, 25-24 May 2016, Isparta (pp. 975-984).
- Olgun, F. A., & Sevilmiş, G. (2017). European Union Instrument for Pre-accession Assistance-rural Development (IPARD) programme and assessment in terms of Turkey. *Turkish Journal of Agricultural Economics*, 23 (1), 25-36. doi:10.24181/tarekoder.317836
- Örs, A., & Oğuz, C. (2019). Unit milk cost and profitability of dairy cattle farms supported and non-supported by IPARD program: a case study of Konya, Turkey. *Custos E Agroengocio online*, 15(4), 471-484. doi:10.81043/aperta.75347
- Özdemir, Ş. (2014). Evaluating the properties of beneficiaries as part of IPARD programme: A case study in Konya. (Unpublished Master Thesis). Selçuk University. Konya.
- Ozkan, G., & Kadagan, O. (2019). An evaluation for agricultural development of agricultural potential in Bursa. *Turkish Studies-Economics, Finance, Politics*, 14(2), 503-522. doi:10.29228/TurkishStudies.22850
- Özkul, G., & Bozkurt, A. A. (2020). The effect of ARDSI supports on regional development and firm growth performance: Isparta Sample. *Gümüşhane University Journal of Social Sciences Institute*, 11(3), 676-698.

- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2013). *Using Multivariate Statistics*. Pearson.
- Tan, S., Ekinci, Ö., Kurt, H., & Karakoç, N. (2018). Analysis of factors affecting the satisfaction level of producers from machinery-equipment support within the scope of the IPARD project in Çanakkale. *COMU Journal of Agriculture Faculty*, 6(1), 1-8.
- Taşcıoğlu, Y., & Sayın, C. (2017). Determination of the factors affecting the use of the support program of the enterprises benefiting from the rural development investments program in the western Mediterranean region. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science And Technology*, 5(7), 786-791. doi:10.24925/turjaf.v5i7.786-791.1190
- Toker, A., & Karlı, B. (2021). The effects of IPARD program on fruit sector: the case of Isparta province. *Turkish Journal of Science and Engineering*, 3(1), 13-21.
- Turkstat. (2018). *Bursa provincial coordinator; publication no: 21 February 2018*. Bursa.
- Turkstat. (2018b). *Provincial populations by years publication no: 1590*. Ankara.
- Türkan, Y., & Değirmenci, Ö. (2017). Support of KOSGEB, supports using the evaluation of business and the city of application Bingöl. *Bingöl University Journal of Social Sciences Institute*, 7, 159-175. doi:10.29029/busbed.365207
- Yardimci, M., Ari, H., & Aslan, R. (2018). The impact of IPARD supports on structural and managerial features of dairy enterprises in Afyonkarahisar province. *Indian Journal of Animal Research*, 52(1), 151-156.
- Zengin, B., & Savgin, E. C. (2016). Pre-accession EU rural development funds IPARD examination of rural tourism support. *Academic Review*, 57, 84-100.





# Water Pumping Systems with Wind Turbines in Sinop

Bekir Yelmen<sup>1\*</sup>, Cengiz Kurt<sup>2</sup>, M.Tarik Çakır<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Adana Metropolitan Municipality, Water and Sewage Authority, Wastewater Treatment Department, Adana, Turkey  
(ORCID: 0000-0001-7655-530X), [byelmen@yahoo.com.tr](mailto:byelmen@yahoo.com.tr)

<sup>2</sup> Faculty of Law, Çukurova University, Adana, Turkey  
(ORCID: 0000-0002-1148-9900), [cengizkurt01@gmail.com](mailto:cengizkurt01@gmail.com)

<sup>3</sup> Department of Mechanical Engineering, Sivas University of Science and Technology, Sivas, Turkey  
(ORCID: 0000-0002-0107-594X), [mutlutar@gmail.com](mailto:mutlutar@gmail.com)

(First received 15 October 2021 and in final form 20 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010299)

**ATIF/REFERENCE:** Yelmen, B., Kurt, C., & Çakır, M. T. (2021). Water Pumping Systems with Wind Turbines in Sinop. *European Journal of Science and Technology*, (31), 515-522.

## Abstract

In meeting the increasing energy need in recent years; Environmental pollution caused by production with fossil energy sources has an important place today. Wind energy, one of the renewable energy sources; It is a clean, reliable, inexhaustible and low operating cost energy source. There is a great interest in clean and renewable energy sources in the world and Turkey. Wind energy is a renewable energy source that progresses day by day. With the use of renewable energy sources, which have a great potential in the agricultural sector, contribution can be made to agricultural activities. It is used in many fields such as wind energy, electricity generation, processing of agricultural products and agricultural water pumps. The aim of this study is to emphasize the increasing importance of wind energy, to evaluate the wind energy potential in Sinop Province and a study has been conducted on the active use of wind energy for farmers to pump agricultural water. Studies on wind energy, water pumping systems and wind data of the city were analyzed. The water pumping capacities depending on various wind forces that can be obtained by using these analyzes were calculated with Visual Basic 6.0 computer program.

**Keywords:** Renewable energy, Water pumping, Computer programs, Wind turbines, Agricultural irrigation.

## Sinop'ta Rüzgâr Türbinli Su Pompalama Sistemleri

### Öz

Son yıllarda artan enerji ihtiyacının karşılanmasında; Fosil enerji kaynakları ile üretimin neden olduğu çevre kirliliği günümüzde önemli bir yere sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisi; Temiz, güvenilir, tükenmez ve işletme maliyeti düşük bir enerji kaynağıdır. Dünyada ve Türkiye'de temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına büyük ilgi vardır. Rüzgar enerjisi her geçen gün artan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Tarım sektöründe büyük bir potansiyele sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile tarımsal faaliyetlere katkı sağlanabilmektedir. Rüzgar enerjisi, elektrik üretimi, tarım ürünlerinin işlenmesi ve tarımsal su pompaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, rüzgar enerjisinin artan önemini vurgulamak, Sinop ilindeki rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmek ve çiftçilerin tarımsal su pompalamalarında rüzgar enerjisinin aktif kullanımı üzerine bir çalışma yapılmıştır. Şehrin rüzgar enerjisi, su pompalama sistemleri ve rüzgar verileri üzerine yapılan çalışmalar analiz edilmiştir. Bu analizler kullanılarak elde edilebilecek çeşitli rüzgar kuvvetlerine bağlı olarak su pompalama kapasiteleri Visual Basic 6.0 bilgisayar programı ile hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir enerji, Su pompalama, Bilgisayar programları, Rüzgâr türbinleri, Tarımsal sulama.

\* Corresponding Author: [byelmen@yahoo.com.tr](mailto:byelmen@yahoo.com.tr)

## 1. Introduction

One of the most fundamental elements of the economic and social development of countries is energy [1]. Demand for energy will continue to increase in the future. Compared to today, in 2030; energy consumption rate in the world and Turkey are expected to increase [2]. It is known that fossil fuels that meet most of the current energy need will be exhausted in the coming years [3]. The need for energy resources is increasing day by day. The demand for energy is increasing every year due to the increase in population, the development of industrialization, the increase in the welfare level of people, and technological developments. Wind energy is preferred because it is a renewable energy source. Decreasing of fossil fuels, negative effects of such fuels on the environment and increasing costs; increased the use of alternative and natural energy sources [4]. It is not a new phenomenon that mankind started to benefit from wind energy, which has an important place among renewable energy sources. Utilization of wind power; first of all sailing ships and windmills, then grain grinding and pumping of water, etc. were used in systems. B.C.17. At the beginning of the century, during the Hammurabi King of Babylon; Wind energy used for irrigation in Mesopotamia; It is known that it was also used in China in the same period. Windmills were first established near Alexandria [5]. In countries such as America, Russia, and Australia, the population of which is spread over a wide area, wind energy; it was used by farmers to extract water [6]. Despite the completion of the European Wind Atlas, studies for determining wind potential for stations not included in this study are still in progress [7]. Wind potential determination studies are also conducted in countries other than developed countries. Studies conducted for Nigeria, Morocco, India, Greece and Cyprus indicate that wind energy can be utilized adequately [8-12]. In the studies carried out by Electrical Works Survey Administration, Bandırma, Antakya, Kumköy, Mardin, Sinop, Gökçeada, Çorlu and Çanakkale were identified as rich regions in terms of wind energy[13]. Additionally, local wind potential determination studies such as Bandırma, Bozcaada, Çeşme, Gökçeada, Çanakkale, Karadeniz Ereğlisi, Florya and Siverek have also been conducted [14-18]. In Turkey, wind energy investment was first held in Çeşme in 1998 (8.7 MW). In 2000, a wind energy investment of 10.2 MW was made in Bozcaada [19]. However, as a result of the increase in the population and the developments in the industry, interest and investments in wind energy are increasing in geographically suitable regions in order to increase the electricity production needed by the countries.

As a result of the new investments made; By the end of the year 2011 in Turkey, with 1806 MW of installed wind power, 2312 MW in 2012, the year 2013 has also reached 2604.1 MW [20]. However, intense population growth, as in other developing countries, in Turkey again; The efforts to increase industrialization and support investments for the development of technology are increasing the energy demand day by day. Turkey, 72% of the energy supply is provided from outside [21].

Renewable energy sources continue to become widespread worldwide with increasing electrical energy demands and environmental concerns arising from meeting these demands with conventional energy sources. Among these sources, wind turbines and wind farms are the most used renewable energy sources today, as they have higher power generation capacities

and lower operating costs compared to other sources. According to the reports of the end of 2016, wind energy has reached approximately 500 GW worldwide with an average increase of 21% in the last decade [22]. With wind energy, electricity generation, water pumping etc. for operations, the average wind speed and regional energy potential must be determined. During the mechanization of agricultural production, direct energy is used. However, in order to prevent environmental problems arising from the use of fossil fuels effectively, it has become necessary to use renewable energy sources in the agricultural sector [23]. Agricultural irrigation in Turkey; It is carried out using water pumps operating with conventional energy sources such as electricity, diesel oil or oil. Diesel and oil pumps are used in agricultural areas that are not electricity or difficult to take electricity and expensive [24].

The main method of providing water for irrigation is the transmission of water between the water source and the irrigated field. This movement of water requires energy. All of the mechanical tools and equipment used for the transmission of water between the source and the field constitute the pumping plant. The design, selection, installation, operation and maintenance of the pumping plant includes important engineering issues. If wind energy is used as a renewable energy source for agricultural irrigation, the production costs will decrease along with the irrigation expenses, which have a large place in total production expenses. Due to the high cost of energy obtained from fossil fuel energy sources, it has become important to use renewable energy sources for agricultural irrigation. Different power sources such as human energy, animal power, wind, solar and fossil fuels have been used in the methods used for pumping water in the past centuries [25].

In water extraction from the underground with wind energy; Turbines with high blades can be used efficiently and economically in water pumping. Underground water can be extracted using the pump and by using the power of the wind. Since wind energy is an intermittent energy source, it is used with storage systems to meet the water demand continuously. In practice, water pumping time at 4 m / s to 7 m / s wind speeds is estimated to be 6–8 hours on average [26]. Wind energy, which is also used in agricultural irrigation, can be used efficiently in active land irrigation operations through systems called wind pumps.

Turkey Electrical Works Survey Administration's mechanical wind energy water pumping system is located. These systems, which are on a pole with a 6 m high steel rope, are 6 bladed and with the help of a suction compression pump; It can be flooded from a maximum depth of 7 m to a height of 5 m. The system starts pumping water at a wind speed of 3 m / s. This system has been installed in the Renewable Energy Resources Park of the Electrical Works Survey Administration. In addition, wind water pumping system was designed and manufactured by Electrical Works Survey Administration. The rotor diameter of this system is 2 m, the number of blades is 16, the diameter of the piston is 10 cm, the stroke is 32 mm and the pumping height is 4 m. This system installed in Didim (Aydın) Solar and Wind Energy Research Center can pump 5.3 m<sup>3</sup>/ day water at a wind speed of 3 m / s [27]. According to Turkey's wind map, Turkey's top wind field regions; Marmara is the Southeastern Anatolia and Aegean region (Table 1). Wind Power Potential Map of Turkey (WPPM) in Figure 1 are given.

Table 1. Turkey's wind energy potential in different regions [28]

Region	Average Annual Wind Speed (m/s)	Annual Average Wind Density (W/m <sup>2</sup> )
Marmara Region	3,29	51,91
Aegean Region	2,65	23,47
Mediterranean Region	2,45	21,36
Central Anatolia Region	2,46	20,14
Black Sea region	2,38	21,31
Eastern Anatolia Region	2,12	13,19
Southeastern Anatolia R.	2,69	29,33
<b>Average</b>	<b>2,58</b>	<b>25,82</b>

In terms of producing wind energy, the average wind speed is; 6.5 m/s is considered as 'medium level', 7.5 m/s is 'good' and wind at 8.5 m/s is considered 'very good' [29]. For an economical wind power plant investment, the wind speed must be higher than 7 m/s [30]. Under this wind speed, electricity cannot be produced economically. For this reason, wind turbines are built in areas with an average wind speed of more than 7 m/s. When Wind Power Potential Map of Turkey (WPPM) examined (Figure 1), it consists of two types of turbines as a horizontal or vertical axis. The most used ones are the ones with horizontal axis. These turbines can be 1,2,3 or multi-bladed. They are called wind turbines from the front and back. Today, most of the electrical power generation applications in various countries are turbines with 2 or 3 blades, horizontal axis and front wind [30].

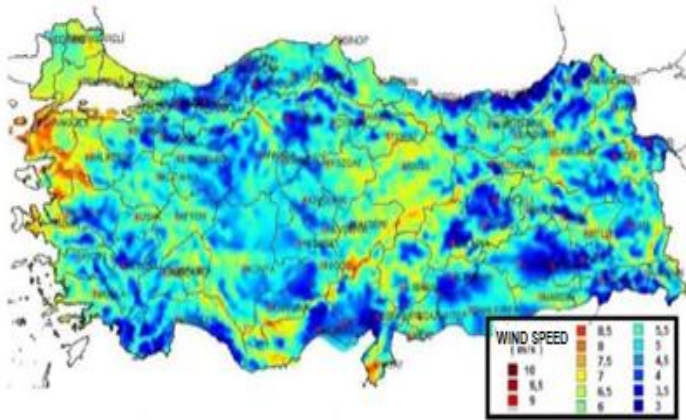


Figure 1. Wind power potential map of Turkey (WPPM) [31]

**Horizontal Axis Turbines;** These types of turbines work with their rotational axes parallel to the wind direction and their blades perpendicular to the wind direction. Such turbines are brought to this position by rotating them on the rotor tower [32]. The movement of the horizontal axis turbines on the tower in the direction of the horizontal axis is provided by a guide tail in the parts that see the wind and the conical angle created in the parts that see the wind from behind (Figure 2). **Vertical Axis Turbines;** The blades of these turbines whose rotational axes are perpendicular to the wind direction and are vertical are also vertical. These turbines have the advantage of taking the wind from all directions. In order for the wings to produce power; Since they have to spin faster than the wind, their first move is not safe (Figure 3).

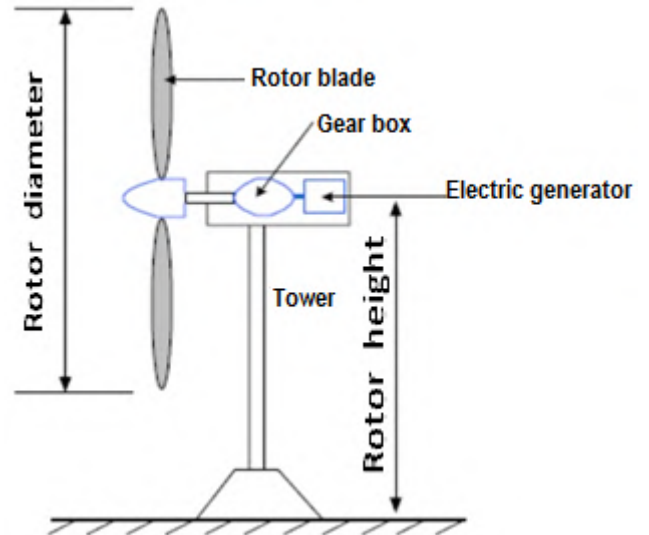


Figure 2. Horizontal axis wind turbine [32]

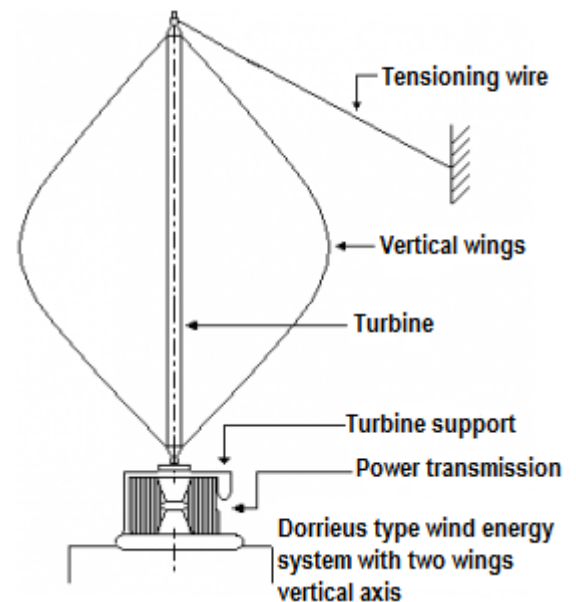


Figure 3. Vertical axis wind turbine [33]

Wind turbine is a system that converts kinetic energy in wind to mechanical energy and then to electrical energy [34]. A wind turbine generally consists of the tower, generator, speed converters (gearbox), electrical-electronic elements and propeller. The kinetic energy of the wind is converted into mechanical energy in the rotor. The rotational movement of the rotor shaft is accelerated and transferred to the generator. The electrical energy obtained from the generator is stored by means of batteries or delivered directly to the receivers [34]. Wind turbines are classified according to their rotational axes, revolutions, powers, blade numbers, wind effect, gear characteristics and installation locations.

Use of wind energy in agricultural activities. One of the most important issues in agricultural production is energy use. Especially with the widespread use of mechanization in agriculture, the increase in agricultural production further increased the need for energy use [35]. Especially diesel fuel and electricity are the most used energy types in agriculture. Wind energy is a resource that can be used in regions with agricultural



activities as well as being clean, abundant and renewable energy. Wind energy has many uses in agriculture such as electrical applications, greenhouse air conditioning, irrigation and drainage applications, heat pump applications, cooling applications and wind mill facilities. In situations where sufficient wind speed is available, the energy requirement needed in the agricultural sector can be met easily through windrose turbines used in small farms and wind turbines that respond to larger energy needs [36]. For example, diameter of a 10 KW wind turbine is 550 mm. Due to the small projection of the turbines, it does not affect agricultural activities and productivity [37]. Today, wind turbines can generate electricity for a few cents per kilowatt hour and compete with the unit production cost of fossil fuel power plants [38]. It can serve many agricultural processes that are needed in the use of mechanical energy, such as electrical power generation with small wind systems, pumping of water, or grain grinding. In the agricultural areas, the energy production costs decrease considerably by means of the windrose turbines to be installed in each farm or settlements and such systems to be installed in areas remote to the transmission lines are economical in all aspects [39]. Irrigation water in agricultural production increases costs especially in regions where water is extracted from underground by water engines. In such cases, with the help of wind energy; The water is extracted through the pump placed in the underground waters [40]. In cases where the wind speed is on average 4-7 m / s, the water pumping time is around 6-8 hours [41]. In addition, with the energy obtained from wind turbines, the electricity needs of small farms can be met [42,43].

In this study, the use of wind energy systems in agricultural irrigation was investigated in order to evaluate the wind energy potential in Sinop province. For wind energy irrigation system (various pumping heights); necessary calculations were made with Visual Basic 6.0 computer program.

## 2. Material and Method

The wind data used in this study was measured and recorded hourly at a height of 10 m above ground level at the State Meteorological Service Sinop province station between 2005-2014. Sinop is located between 41 ° 12 'and 42 ° 06' north latitudes and 34 ° 14 'and 35 ° 26' east longitudes in the middle of the Black Sea region. Figure 4 gives the location of Sinop province.

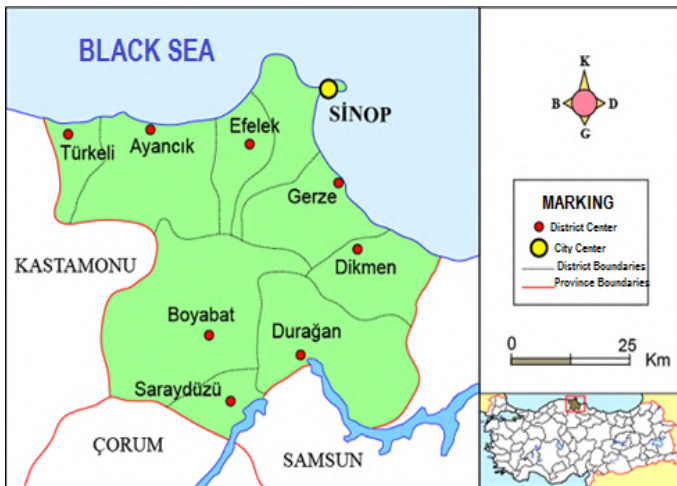


Figure 4. Location of Sinop on Turkey Map[44]

The annual average temperature of the districts on the coastal part of Sinop varies between 13-15 ° C and 12-14 ° C in the inland settlements. The seasons do not have much difference in temperature. In the coastline, the dominant wind direction is north west (karayel) and the average annual wind speed is 3,5 m/s. In places far from the coastline, the dominant wind is west-oriented, and it is slightly lighter than the coastline, with an average of 1 m/s and 2 m/s. The population of Sinop province is 204,133 [45]. In Table 2, power capacities based on wind speeds of 50 m height in Sinop province are given. For the economic Wind Power Plant investment planned to be established in a place, the speed of the prevailing wind must be at least 7 m/s or more in that place. As can be seen in Figure 5, WPP can be said to be an economic investment since the dominant wind speed in Sinop is between 6,8 m/s and 7,5 m/s.

Table 2. Wind power plant power capacity that can be installed in Sinop province [46]

WindPower(50m) (W/m <sup>2</sup> )	WindSpeed(50m) (m/s)	Total Area (km <sup>2</sup> )	Total Power Capacity (MW)
300-400	6,8-7,5	289,63	1448,16
400-500	7,5-8,1	8,59	42,96
500-600	8,1-8,6	0,00	0,00
600-800	8,6-9,5	0,00	0,00
>800	>9,5	0,00	0,00
<b>Total</b>		298,22	1491,12

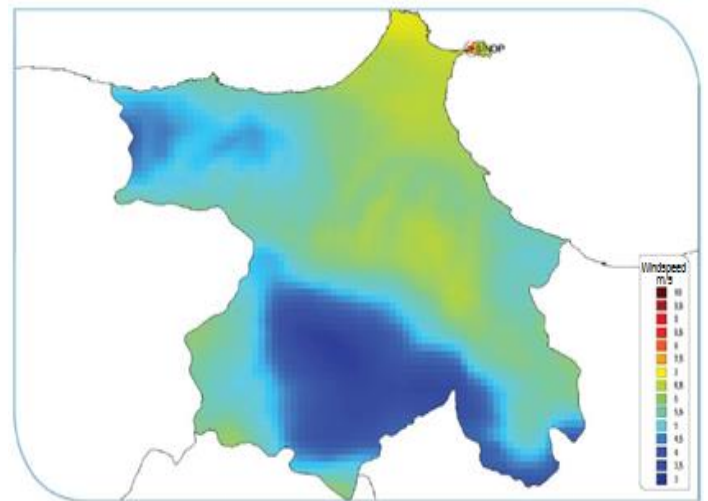


Figure 5. Wind speed distribution of Sinop province (50m) [47]

Coordinates whose wind data are taken into consideration in the study; 42.0025513345238 north latitude, 35.0127371674451 east longitude, a point in Dibekli village of Sinop province, central district was determined. This point is 78 m above sea level and its direction is north west. The priority process in the selection of Wind Power Plant turbines is to determine the dominant wind direction belonging to that place. The dominant wind direction in Sinop is 150°; 300° in June and August only; It is 330° in July (Figure 6). The east of Sinop is limited to the high plains of Boztepe peninsula; the west is surrounded by the skirts of Küre Mountains [47].



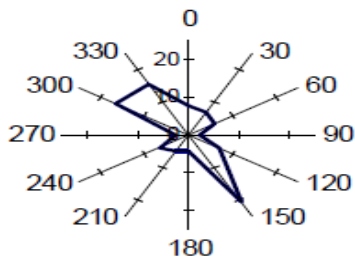


Figure 6. Dominant wind direction in Sinop [48]

**Wind Pumps and System components.** Wind energy water pumping systems are the systems used for pumping water to certain heights and storing the pumped water by making use of the existing wind energy in the region. Wind energy pumping systems generally include multi-blade rotor, piston water pump, gearbox, storage tank and auxiliary mechanisms. As a principle of operation, it transmits circular motion to the rotor gearbox, which starts rotating at various wind speeds. After the speed is increased in the gearbox or the same speed is turned into a linear motion, the piston of the piston pump in the water source is moved up and down. In the meantime, the water in the source is transmitted to the storage tank through the clapper system on the piston pump and the up and down movements of the piston. The variation of the water obtained over time is directly proportional to the wind speed, and in order for these systems to operate, the wind speeds must be above 3 m/s. A system diagram of multi-vane wind pumps is shown in Figure 7, and an example of piston pumps used in the system is shown in Figure 8.

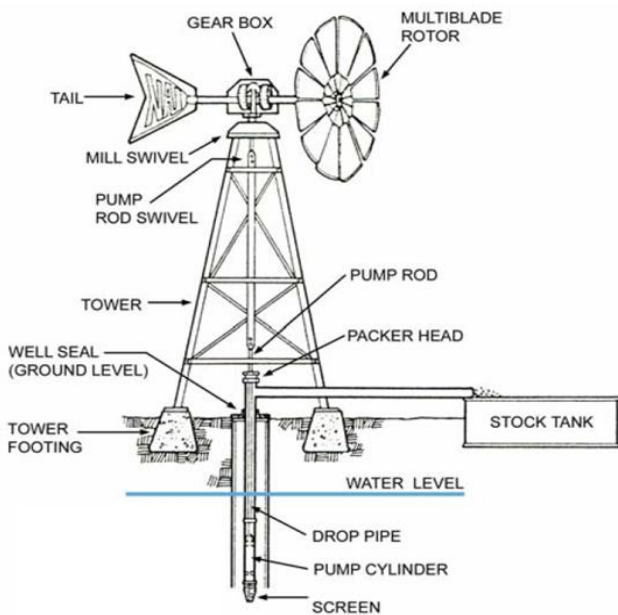


Figure 7. Components of a multiblade windmill for pumping water wind energy potential[49]

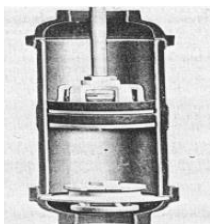


Figure 8. Diagram of piston pump(courtesy of dempster industries, beatrice, Nebraska) [50]

Electrical Power Resources Survey and Development Administration as a result of measurements made by the Authority obtained and shown in Table 3. The Sinop monthly wind average monthly wind energy value with Visual Basic 6.0 program utilizing data are calculated. The following tables and equations are used to calculate monthly water pumping amounts according to the wind energy values and features that can be changed from the wind pump program menus.

Table 3. Average monthly wind speed of Sinop city (m/s) [51]

Months	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Average	4,3	4,5	4,7	4,9	5	5	4,5	4,1	4,2	4,4	4,6	4,4

During the movement of the piston of the wind pump, the equations that give the amount of water absorbed and transmitted to the tank are as follows [50]. In these equations, the amount of water pressed in one revolution of the D wind pump rotor,  $A_p$  piston cross-sectional area,  $L_p$  piston stroke length (stroke), wind pump shaft speed in 1 second,  $d_p$  piston diameter, the amount of water obtained in  $Q_p$  system losses, s piston pump is the coefficient of loss and  $s = 0.03$  or  $0.05$  is taken.

$$D = A_p \cdot L_p \cdot f \quad (m^3 / s) \quad (1)$$

$$A_p = \pi \frac{(d_p)^2}{4} \quad (m^2) \quad (2)$$

$$Q_p = D \cdot (1 - s) \quad (m^3 / s) \quad (3)$$

In wind energy systems, the number of wings differs according to the usage purposes of the system. Generally, electric power generating wind turbines are single blades, two or three blades, while water pumping systems are 6-8 blades or more. While few blades are used in high speed wind systems, many blades are used in low speed wind turbines. Therefore, there is an inverse proportion between the wind speed coefficient and the number of wings. Speed coefficients of different wing numbers are shown in Table 4 [52].

Table 4. The relationship between the number of wings and the speed coefficient [52]

Number of wings	Speed coefficient ( $\lambda$ )
8-24	1
6-12	2
3-6	3
2-4	4
2-3	5

Various wing numbers, wind speed, rotor radius etc. Equations used in calculating the amount of energy that can be obtained from wind turbines according to the system features such as:

$$\lambda = V_{\zeta} / V \quad (4)$$

$$V_{\zeta} = V \cdot \lambda \quad (\text{m/s}) \quad (5)$$

$$L_{\zeta} = 2 \cdot \pi \cdot r \quad (\text{m}) \quad (6)$$

$$n_R = V_R / L_{\zeta} = f \quad (\text{cycles/s}) \quad (7)$$

$$A_R = \pi \cdot r^2 \quad (\text{m}^2) \quad (8)$$

$$P_R = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_R \cdot V^3 \cdot C_P \quad (\text{watt}) \quad (9)$$

Here  $r$  rotor radius  $V$  velocity coefficient,  $V_{\zeta}$  rotor circumferential speed,  $V$  regional wind speed,  $L_{\zeta}$  rotor circumference length,  $n_R$  rotor speed, power that can be obtained from PR turbine,  $A_R$  rotor sweep surface area,  $\rho$  air density,  $C_p$  is the power factor of the system. The system power factor is used as approximately 0.35 for multi-blade wind pumps [50,52]. By means of the program written, the height and flow rate of the wind pump, which will be used for pumping water, is calculated according to the monthly wind data of Sinop. By means of the program prepared, the results can be obtained according to the months by entering the rotor radius, number of blades, piston diameter of the piston pump to be used in the system and the progression length values of the wind pump. As can be seen from the program, the change of each system element affects the flow and the height values at which it can extract the water. Through the program written; The results obtained according to various blade number, rotor radius, piston stroke length and piston diameter values are given in Figure 9, Figure 10, Figure 11 and Figure 12.

Figure 10. Sinop province wind pump selection program and system variables screenshot

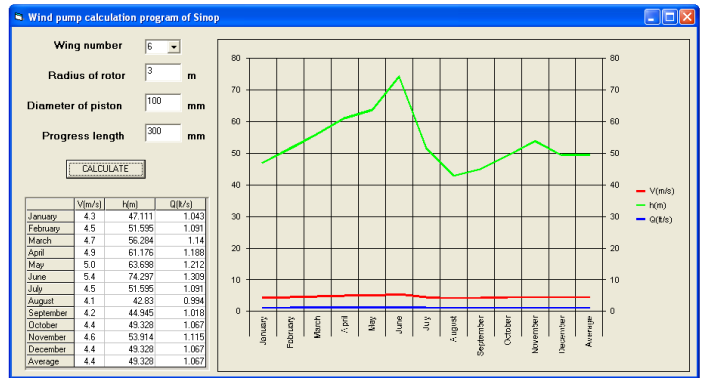


Figure 11. Sinop province wind pump selection program and system variables screenshot

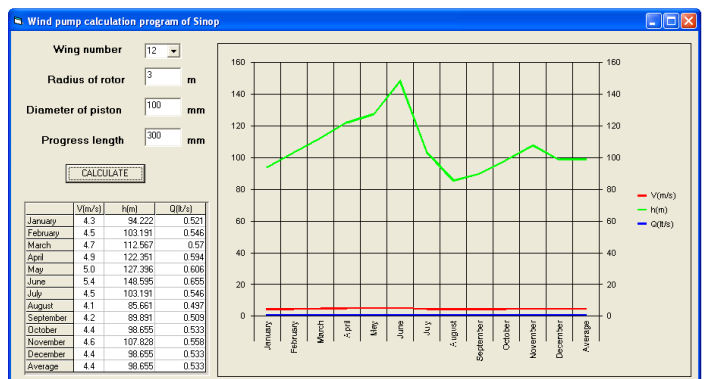


Figure 12. Sinop province wind pump selection program and system variables screenshot

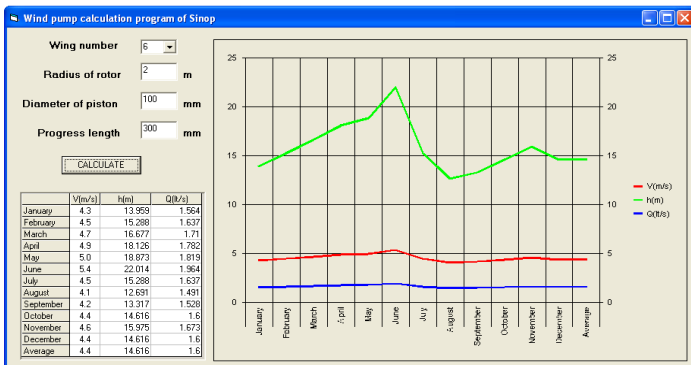
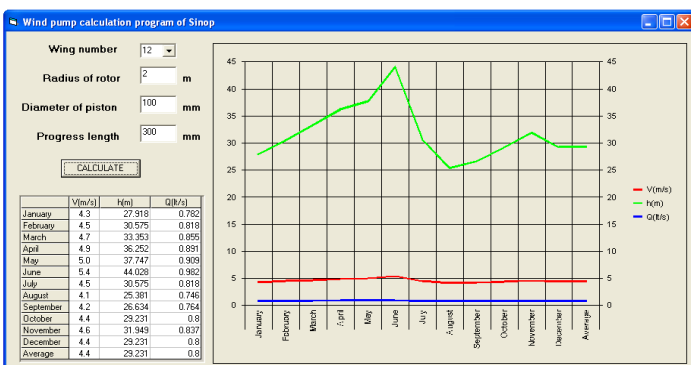


Figure 9. Sinop province wind pump selection program and system variables screenshot



## 4. Conclusions and Recommendations

With this study, in order to prevent environmental problems arising from direct or indirect use of fossil fuels and to ensure sustainable development; It aimed to emphasize the need for renewable energy sources in the agricultural sector. In this context, solution suggestions have been brought to provide rural development by providing renewable energy sources that can be used in the agricultural sector, ensuring environmental quality, increasing employment in rural areas and increasing the welfare of the local population. In agricultural production, especially in regions where irrigation water is extracted from underground by electric or diesel engines, energy costs are an important burden on farmers economically and increase production costs. The use of wind energy systems, which are generally used for electricity generation, in agricultural irrigation areas is of great importance. A program has been written for farmers to calculate various pumping heights in agricultural irrigation, according to the use of wind energy systems in the province, by considering the monthly average wind speeds of Sinop. At various monthly wind speeds written and tested through Visual Basic 6.0 computer program; By entering the technical data of the wind pump, the amount of water that can be transmitted to certain heights is calculated in lt/s. When the results of June, which is the highest wind speed average, are analyzed; It has been observed that the system with 6 blades, rotor radius of 2 m, piston diameter and course length of 100 mm and 300 mm respectively can deliver water at a flow of 1,964 lt / s to a height of 22,014 m. When the

number of blades was selected as 12 for the system with the same feature, it was observed that the pumping height value increased to 44.028 m and the flow rate decreased to 0.982 lt/s. When the rotor radius is 3 m, the pumping height for the 6-blade rotor is 74.297m, the flow is 1.309 lt / s, the number of blades is increased to 12 in the same system; While the pumping height increases to 148.595 m, the flow rate decreases to 0.655 lt / s. As can be seen from the results; Through this program developed for Sinop province, it has been observed that the increase in the number of wind pump blades in the selection of wind pump components increases the pumping height and decreases the water flow value. In such systems, in order to increase the water from the depths of the soil layer to higher points; Increasing the rotor radius and wing number of the system is an important criterion and it is important to store it in the water tank, which is a part of the system in the pumped water, and use it when necessary. As a result, the design and assembly processes of wind turbines, which are one of the most important factors of electricity generation from wind energy, are extremely important. The development of this study is of great importance. Agricultural irrigation systems with wind energy system should be started as soon as possible, and farmers should be made conscious and encouraged. Study, the use of wind energy systems in agricultural irrigation was investigated in order to evaluate the wind energy potential in Sinop province. For wind energy irrigation system; necessary calculations were made with Visual Basic 6.0 computer program.

## References

- [1] Pamir, A.N. (2003): Energy in the World and Turkey, Turkey's Energy Resources and Energy Policy, [http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi134/d134\\_73100](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi134/d134_73100).
- [2] Satman, A. (2007): Turkey's Energy Vision, Power Generation from Geothermal Energy Seminar. 3-18.
- [3] Kumbur, H., Ozer, Z., Ozsoy, H.D., Avci, E.D. (2005): Traditional and renewable energy sources in Turkey; Comparison of potential and environmental effects. III. National Renewable Energy Resources Symposium (Mersin-Turkey).
- [4] Celik, A.D., Kızıltug, T., Dagistan, E. (2017): Wind power production in the world and Turkey and usage opportunities in agriculture. 2<sup>nd</sup> International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017) Çukurova University, Congress Center (Adana, TURKEY). 130-137.
- [5] Demir, F.N. (2007): Wind turbines graduation project, Dokuz Eylül University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department (İzmir, Turkey).
- [6] Anonymous. (2020): <http://www.melikedemir.com/ret.htm>
- [7] Troen, I., Petersen, E.L. (1989): European Wind Atlas, Commission of the European Communities, Directorate-General for Science (Brussels, Belgium).
- [8] Adekoya, L.O., Adewale, A.A. (1992): Wind energy potential of Nigeria, Renewable Energy. 35-39.
- [9] Darwish, A.S., Sayigh, A.A.M. (1991): Wind energy potential in Morocco, Renewable Energy. 1, 1-8.
- [10] Panda, R.K., Sarkar, T.K., Bhattacharya, A.K. (1990): Stochastic study of the wind-energy potential of India, Energy. 15: 921-930.
- [11] Pneumatikos, J.D. (1991): Wind energy potential in NW Peloponnese-Greece, Renewable Energy. 1: 137-139.
- [12] Pashardes, S., Christofides, C. (1995): Statistical analysis of wind speed and direction in Cyprus, Solar Energy, 55: 405-414.
- [13] EIE. (2014): Electrical Works Survey Administration. Energy and Natural Resources Ministry Republic of Turkey. EIE publication. 85.
- [14] Dundar, C., Inan, D. (1999): The analysis of wind data and wind energy potential in Bandırma, Turkey, ISES 1999 Solar World Congress (Jerusalem, Israel).
- [15] Dundar, C. Inan, D. (1996): Investigation of wind energy application possibilities for a specific island (Bozcaada) in Turkey, World Renewable Energy Congress: Renewable Energy, Energy Efficiency and the Environment. 9: 822-826.
- [16] Dundar, C., Inan, D. (1997): Wind energy potential in Çeşme, Turkey, ISES 1997 Solar World Congress (Taejon, Korea).
- [17] Tolun, S., Menten, S. Aslan, Z. Yukselen, M.A. (1994): Gokceada, estimated that the wind energy potential and electricity production, Turkey 6. Energy Congress Technical Session Communiqué I., (İzmir, Turkey). World Energy Council Turkish National Committee. 418-432.
- [18] Kulunk, H. (1993): Wind energy potential in Turkey, Applied Energy, 45: 181-190.
- [19] Dundar, C., Canbaz, M., Akgun, N., Ural, G. (2007): Wind Atlas of Turkey: Central Anatolia Energy Forum (Ankara, Turkey).
- [20] EI. (2019): Energy institute director Turkey is headed at high speed in the field of wind energy. <http://enerjienstitusu.com/2013/09/17/turkiye-ruzgar-enerjisi-alaninda-hizla-yol-aliyor/>
- [21] Yilmaz, M. (2012): Turkey's energy potential of renewable energy and electric power generation the importance of source. Ankara University Journal of Environmental Sciences. 4(2): 33-54.
- [22] GWEC. (2016): Global Wind Energy Council. Global wind report annual market update. 2016. <https://gwec.net/publications/global-wind-report-2/global-wind-report-2016/>
- [23] Ozturk, H.H. (2010): Determination of design variables for the storage of solar energy as sensible heat for greenhouse heating in antalya climate conditions. Url adres: [http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/a1dfc4176d3ee05\\_ek.pdf?tipi](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/a1dfc4176d3ee05_ek.pdf?tipi)
- [24] Gencoglu, M.T., Cebeci, M. Gunes, M. (2002): Solar-controlled PLC pump system design of solar energy for greenhouse heating in Antalya Climate Conditions. Electrotech. 94: 90-96.
- [25] Karamanav, M. (2007): Solar energy and solar cells. Sakarya University Institute of Science and Technology, Master's Thesis. 86.
- [26] EIE. (2015): General Directorate of Electrical Works Survey Administration. Wind Energy Water Pumping Systems Project, <https://www.turkiye.gov.tr/elektrik-isleri-etut-idaresi-genel-mudurlugu>
- [27] YEK. (2019): Republic of Turkey Ministry of Energy and Natural Resources. General directorate of renewable energy. <https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-yenilenebilir-enerji>
- [28] EIE. (1986): General Directorate of Electrical Works Survey Administration, Wind Energy, Electrical Works Survey Administration (Ankara, Turkey),

- <https://www.turkiye.gov.tr/elektrik-isleri-etut-idaresi-genel-mudurlugu>
- [29]YEK.(2016): Republic of Turkey Ministry of Energy and Natural Resources. General directorate of renewable energy, <https://www.turkiye.gov.tr/elektrik-isleri-etut-idaresi-genel-mudurlugu>
- [30] YEK. (2017): Republic of Turkey Ministry of Energy and Natural Resources. General directorate of renewable energy, <https://www.turkiye.gov.tr/elektrik-isleri-etut-idaresi-genel-mudurlugu>
- [31]Senel, M.C., Koc, E. (2015): Wind Energy in the World and Turkey Status-General Evaluation, Engineering and Machinery. 5: 46-56.
- [32]Tekinbugru, C.M. (2012): Turkey and the world in wind energy. (Sakarya,Turkey). <https://pt.slideshare.net/CENGZMURATTEKNBR/trkiye-de-ve-dnya-da-rzgar-enerjisi>
- [33]Gurguroglu, S. (2012): Wind Turbines, Smart networks with wind turbines, <https://akillisebekeler.com/2012/12/22/ruzgar-turbinleri/>
- [34]Anonymous.(2014): Wind turbines and classification of wind turbines. Wikipedia.org, [http://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCzg%C3%A2r\\_t%C3%BCrbini](http://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCzg%C3%A2r_t%C3%BCrbini)
- [35]Ozturk, H. H., Yasar, B., Eren, O. (2010): Energy use in agriculture and renewable energy sources. Chamber of Agriculture Engineers Chamber Turkey Agricultural Engineering VII. Technical Congress Proceedings Book (Ankara, Turkey). 909-932.
- [36]Turan, S. (2006): Renewable energy sources, research reports. Konya Chamber of Commerce Publications(Konya,Turkey).
- [37]Anonymous.(2016): Chamber of Agricultural Engineers of Turkey, <https://www.zmo.org.tr/etkinlikler/index.php>
- [38]Fischer, J., R. Finnell, J.A., Lavoie, B.D.(2006): Renewable Energy in Agriculture: Back to the Future?, Choices, 21(1) 1st Quarter 2006, <http://www.choicesmagazine.org/2006-1/biofuels/2006-1-05.htm>
- [39]NREL.(2004): National renewable energy laboratory. Wind power: Today and tomorrow, <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/34915.pdf>
- [40]Chel.A., Kaushik, G.(2011): Renewable energy for sustainable agriculture. Agronomy for Sustainable Development. <https://doi.org/10.1051/agro/2010029>. 31: 91–118.
- [41]Adhikari, N., Shrestha, K.L. (2019): Impact of climate change on wind energy generation in Kagbeni, Nepal using RegCM . Journal of the Institute of Engineering. 15 ( 3): 16–20.
- [42]Taskin, O., Vardar, A.(2016): Use of some renewable energy resources in agricultural production, U.U. Faculty of Agriculture. 30(1): 179-184.
- [43]EIE.(2015): General directorate of electrical works survey administration, Wind Energy Water Pumping Systems Project. <https://www.turkiye.gov.tr/elektrik-isleri-etut-idaresi-genel-mudurlugu>
- [44]Anonymous.(2017a): (Accessed: 09/03/2016). <https://s.milimaj.com/others/image/harita/sinop-ili-haritasi.png>
- [45] Anonymous.(2017b): (Accessed: 09/12/2019) <http://www.sinop.gov.tr/cografya>
- [46]REPA.(2013): Point wind resource information report. Energy and Natural Resources Ministry. <https://www.turkiye.gov.tr/elektrik-isleri-etut-idaresi-genel-mudurlugu>
- [47]REN.(2016): General directorate of electrical power resources survey and development administration of Turkey, <http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/SINOP-REPA.pdf>
- [48]Tagil, S. (2000): Development of new and renewable energy source. VIII. Turkey Energy Congress, 2000,(Ankara, Turkey) 2: 135-149.
- [49]MAAL. (2006): Using wind energy to pump livestock water, livestock watering factsheet, British Colombia, Ministry of Agriculture and Lands. 305(4): 1-8.
- [50] Gary, L.J. (2001): Wind energy systems. Electronic Edition. 2001. 33-37
- [51]EIE. (2016): General directorate of electrical power resources survey and development administration of Turkey. Monthly average wind speeds of 10 meters high wind energy monitoring stations. <https://www.turkiye.gov.tr/elektrik-isleri-etut-idaresi-genel-mudurlugu>
- [52]Gungor, K. (2005): Wind pump design and prototype manufacturing. Master's thesis, Zonguldak Karaelmas University, Institute of Science, Department of Mechanical Education. 2005. 21





# Yield and Essential Oil Composition of *Thymus eigii* (M. Zohary & P.H. Davis) Jalas Leaves and Flowers at Various Growth Stages in the Mediterranean Region

Muzaffer Barut<sup>1\*</sup>, Leyla Sezen Tansı<sup>2</sup>, Şengül Karaman<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Çukurova University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Adana, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9095-8225),

[muzafferbarut1@gmail.com](mailto:muzafferbarut1@gmail.com)

<sup>2</sup> Çukurova University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Adana, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0726-3332),

[lsezen@cu.edu.tr](mailto:lsezen@cu.edu.tr)

<sup>3</sup> Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Faculty of Science and Letter, Department of Biology, Kahramanmaraş, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7617-9957),

[sengulk@ksu.edu.tr](mailto:sengulk@ksu.edu.tr)

(First received 15 October 2021 and in final form 16 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010281)

**ATIF/REFERENCE:** Barut, M., Tansı L.S., Karaman, Ş., (2021). Yield and Essential Oil Composition of *Thymus eigii* (M. Zohary & P.H. Davis) Jalas Leaves and Flowers at Various Growth Stages in the Mediterranean Region. *European Journal of Science and Technology*, (31), 523-530.

## Abstract

*Thymus eigii* is a perennial shrub from *Lamiaceae* family and it is found as wild in Adana and Hatay provinces, Turkey. The potential use of *Thymus* spp. in the prevention of viral diseases is making its demand rise. In this study, *T. eigii* plants were collected at various growth stages (pre-flowering, mid-flowering, and full-flowering) from Adana, Turkey in order to determine the most suitable harvest time for the highest amount of essential oil and yield. Full-flowering resulted in the highest plant height (36.11 cm), plant diameter (57.30 cm), fresh herb yield (251.31 g plant<sup>-1</sup>), fresh flower yield (158.24 g plant<sup>-1</sup>), dry herb yield (84.73 g plant<sup>-1</sup>), and dry flowers yield (53.63 g plant<sup>-1</sup>), whereas the highest fresh leaves yield (38.97 g plant<sup>-1</sup>) and dry leaves yield (16.72 g plant<sup>-1</sup>) were found at mid-flowering. While the highest flower essential oil rate (4.75 ml 100 g<sup>-1</sup>) was obtained at mid-flowering, the highest leaves essential oil rate (2.77 ml 100 g<sup>-1</sup>) was found at pre-flowering. The major compounds were carvacrol (70.87-77.98%), p-Cymene (3.39-7.46%), β-Caryophyllene (3.90-5.17%), γ-Terpinene (0.58-5.15%), and isoborneol (0.30-3.58%). As a result, the most suitable harvest time was determined as pre-flowering in terms of dry leaf yield and full-flowering in terms of flowers essential oil yield.

**Keywords:** *Thymus*, Essential oil, Carvacrol, Wild species.

## Akdeniz Bölgesinde *Thymus eigii* (M. Zohary & P.H. Davis) Jalas Bitkisinin Farklı Gelişme Devrelerinde Verimi ile Yaprak ve Çiçeklerdeki Uçucu Yağ Bileşimi

### Öz

*Thymus eigii*, *Lamiaceae* familyasından çok yıllık bir çalı olup, Türkiye'nin Adana ve Hatay illerinde yabani olarak bulunmaktadır. *Thymus* spp. türlerinin viral hastalıkların önlenmesi konusundaki potansiyel kullanımı talebi artırmaktadır. Bu çalışmada, en yüksek miktarda verim ve uçucu yağ elde etmek için en uygun hasat zamanını belirlemek amacıyla, Adana, Türkiye'den farklı çiçeklenme dönemlerinde (çiçeklenme öncesi, yarı çiçeklenme ve tam çiçeklenme) toplanmıştır. Tam çiçeklenmede en yüksek bitki boyu (36.11 cm), bitki çapı (57.30 cm), taze bitki verimi (251.31 g bitki<sup>-1</sup>), taze çiçek verimi (158.24 g bitki<sup>-1</sup>), kuru bitki verimi (84.73 g bitki<sup>-1</sup>), kuru çiçek verimi (53.63 g bitki<sup>-1</sup>) saptanırken, en yüksek taze yaprak verimi (38.97 g bitki<sup>-1</sup>) ve kuru yaprak verimi (16.72 g bitki<sup>-1</sup>) ise yarı çiçeklenmede belirlenmiştir. En yüksek çiçek uçucu yağ oranı (4.75 ml 100 g<sup>-1</sup>) yarı çiçeklenmede, en yüksek yaprak uçucu yağ oranı (2.77 ml 100 g<sup>-1</sup>) ise çiçeklenme öncesi dönemde bulunmuştur. Başlıca bileşikler karvakrol (%70.87-77.98), p-Cymene (%3.39-7.46), β-Caryophyllene (%3.90-5.17), γ-Terpinen (%0.58-5.15) ve izoborneol (%0.30-3.58) olarak saptanmıştır. Sonuç olarak en uygun hasat zamanı kuru yaprak verimi açısından çiçeklenme öncesi, çiçek uçucu yağ verimi açısından ise tam çiçeklenme olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Thymus*, Uçucu yağ, Karvakrol, Yabani türler.

\* Corresponding Author: [muzafferbarut1@gmail.com](mailto:muzafferbarut1@gmail.com)

## 1. Introduction

*Thymus eigii* (syn. *T. syriacus* subsp. *eigii*) (*Lamiaceae*) is native to southern Europe and Asia and it is a member of the *Thymus* genus, which contains approximately 300 species of hardy perennial herbaceous plants and subshrubs (Könemann, 1999). *T. eigii* is called “kekik” like other *Thymus*, *Coriandrum*, *Thymbra*, *Coridothymus*, and *Satureja* species available in the Turkish flora, and this plant is narrowly distributed in southern Anatolia (Davis, 1982; Ozguven ve Tansi, 1998, Kocabas ve Karaman, 2001). It grows as wild at 500-915 m in Lebanon, Syria, and Turkey (TUBIVES, 2021).

*Thymus* oil, along with essential oils of clove, lemon, and chamomile, was used as a disinfectant and antiseptic in hospitals until the early 20th century (Ryman, 1992). There have been several reports in the literature on the antibacterial and antioxidant activities of various *Thymus* species, and essential oils have frequently stayed at the heart of many studies (Baydar, 2016). This genus is also well-known for a variety of additional pharmacological characteristics, including spasmolytic, expectorant, and mammalian age delaying effects (Stahl-Biskup, 1991; Rasooli and Mirmostafa, 2002). Moreover, the essential oils of several *Thymus* species are widely utilized as flavoring agents in food processing, and thyme oil is still ranked among the top ten essential oils in the world (Stahl-Biskup, 1991). Herba is mainly used in meat dishes, vegetable dishes, various sauces and salads, cheese and sausage production. *Thymus* spp. is a good pollen source for bees and a high-quality herbal source for dairy animals. Therefore, the honey of the bees fed with *Thymus* spp. and the dairy products of the animals grazed with thyme are of high quality (Ortiz ve Fernandez, 1992).

The status of Mediterranean cuisine and the health benefits of *Thymus* spp. are contributing to the rising demand in the European market. Germany is Europe's main importer of dried leaves of *Thymus* spp. with special deals for organic suppliers. Besides Germany, other significant and developing markets with potential for new emerging nation suppliers include Spain, Belgium, the United Kingdom, France, and the Netherlands (Eurostat, 2021). Poland is the biggest EU producer, followed by Spain and France, however, large volumes are imported from non-European countries. Morocco, Egypt, Turkey, Israel, Syria, and Albania are major suppliers (Eurostat, 2021).

The flora of Turkey, which is very rich in medicinal and aromatic plants and endemic plants, has been destroyed due to unconscious collections, destruction of nature, and environmental pollution, and many species are in danger of extinction. *Thymus* spp. also gets its share from them (Ozguven ve Tansi, 1998). Two of the most significant strategies for biological variety conservation are germplasm collection and ex situ conservation in gene banks. Several *Thymus* species are of particular importance as wild relatives of plants, with the goal of utilizing them to improve through plant breeding. All across the world, 684 *Thymus* accessions are present and *Thymus vulgaris* shares 19% and *Thymus serpyllum* 14%, *Thymus pulegioides* %13, *Thymus mastichina* %5, *Thymus praecox* 4% of these accessions, respectively. Research Station of Medicinal Crops, Ukraine (UKR019) conserves the world's largest and most diverse collection of *Thymus* (Genesys, 2021).

Medicinal and aromatic plants have a very wide range of uses and their importance and therapeutic properties are usually

characterized by their active ingredients. Plants' leaves, flowers, seeds, and fruits are widely used as medicines, and the active ingredients of various plant parts fluctuate with growth seasons as well as changes in daily temperature and light intensity. Thus, a drug manufacturer should be well-versed in the variations of active ingredients and should harvest plants at the appropriate locations and the development stages when the plants were rich in drug-related active ingredients. Taking such alterations into account, the most accessible organ, development stage, and harvest time for drug acquisition can be determined. To the extent of our knowledge, there are no published studies investigating the effect of the different growth stages and organs on the quality and yield of *T. eigii*. Therefore, this study aimed to assess the ontogenetic and morphogenetic variability on yield and quality characteristics of *T. eigii* by comparing with various growth stages and organs in the Mediterranean region where the effects of global warming and climate change are intensively felt.

## 2. Material and Method

### 2.1. Plant Material

The area where *Thymus eigii* (M. Zohary & P.H. Davis) *Jalas* species naturally spread were determined in the flora of Çürüklü, Kozan/Adana (37°39'23.6"N 35°57'04.1"E). The slope is rocky-scrub covered with *Elymus* sp., *Echinops orientalis*, *Taraxcum officinale*, *Genista albida*. The plants were identified according to the identification keys of Davis (1982) by the taxonomist Prof. Dr. Ahmet İlçim. The plants were collected in June-July 2021 at various growth stages (pre-flowering, mid-flowering, and full-flowering).

### 2.2. Essential oil extraction

25 g dried leaves and dried flower samples from each treatment were weighed and placed in a glass balloon with 250 ml distilled water then placed in the Clevenger apparatus for essential oil hydrodistillation for 2 hours. The value was recorded (in mL) from the apparatus. Essential oil stored at 4 °C until analyzed. The oil rate was stated on a dry tissue weight basis.

### 2.3. Essential oil extraction

GC-MS analyses were conducted in the Department of Biology at Kahramanmaraş Sutcu Imam University. 10 µl essential oil was mixed with 0.25 ml dichloromethane and 1 µl mixture was injected into the column. Essential oil compounds were detected using an Agilent 5975C mass spectrometer in conjunction with the Agilent GC-6890 II series. The GC was equipped with an HP-88 capillary column (100 m x 250 µm x 0.20 µm film thickness) and the carrier gas flow rate was 1.0 ml/min. The oven temperature was held at 70 °C for 1 min and then increased from 70 to 220 °C at a rate of 10 °C/min and waited for 10 min. Then increased to 230 °C at a rate of 10 °C/min and held at 10 min. The temperature of the injection part was 250 °C. The mass spectrometer was operated in EI mode at 70 eV. The split ratio was 20:1. Mass range 35–400 m/z; scan speed (amu/s): 1000. The compounds were identified by mass spectra using Flavor2, W10N14 and Wiley7Nist05 libraries as reference compounds.

## 2.4. Statistical analysis

Morphological analyzes were performed on 30 plants and chemical analyzes were performed in triplicate. The experimental data regarding the results of morphological and chemical analysis were statistically analyzed by analysis of variance (ANOVA). Significantly different means were separated at  $P = 0.05$  using the LSD (Least Significant Difference) test. ANOVA and principal components analysis on correlations were performed using statistical software JMP® (version 14.0, SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989-2019). The heat map was constructed using Flourish studio.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Morphological Traits

To understand the effects of different growth stages some morphological traits were recorded and given in Table 1. Compared to the growth stages of *T. eigii*, full-flowering (36.11 cm) and mid-flowering (35.24 cm) resulted in the highest plant height which was 12 and 9 percent higher than pre-flowering stages, respectively. The reduction in plant height with early growth stages could result from a shorter period of vegetative growth of plants. The plant height values for *T. eigii* are in harmony with the findings obtained by Ozguven and Kirici (2002). As in plant height, full-flowering (57.30 cm) and mid-flowering (55.67 cm) resulted in the highest plant diameter which was 25 and 22 percent higher than pre-flowering, respectively.

Full-flowering resulted in the highest fresh herb yield (251.31 g plant<sup>-1</sup>) which was 20 and 43 percent higher than growth stages of mid-flowering and pre-flowering, respectively. Mid-flowering resulted in the highest fresh leaves yield (38.97 g plant<sup>-1</sup>) which was 17 and 43 percent higher than growth stages of pre-flowering and full-flowering, respectively. Full-flowering resulted in the highest fresh flower yield (158.24 g plant<sup>-1</sup>) which

was 30 percent higher than growth stages of mid-flowering. With the flowering, the plant ages and enters the generative phase and the large spring leaves fall in the summer and start to form small hard leaves that are resistant to heat. Therefore, very few leaves are obtained during the full flowering period.

Full-flowering resulted in the highest dry herb yield (84.73 g plant<sup>-1</sup>) which was 26 and 55 percent higher than growth stages of mid-flowering and pre-flowering, respectively. Mid-flowering resulted in the highest dry leaves yield (16.72 g plant<sup>-1</sup>) which was 17 and 32 percent higher than growth stages of pre-flowering and full-flowering, respectively. Full-flowering resulted in the highest dry flowers yield (53.63 g plant<sup>-1</sup>) which was 42 percent higher than growth stages of mid-flowering.

Plants in different stages of development produce a strongly fluctuating content of essential oils. Pre-flowering resulted in the highest leaves essential oil rate (2.77 ml 100g<sup>-1</sup>) which was 14 and 66 percent higher than growth stages of mid-flowering and full-flowering, respectively. Mid-flowering resulted in the highest flower essential oil rate (4.75 ml 100g<sup>-1</sup>) which was 3 percent higher than the growth stage of full-flowering. When we compared these essential oil rate findings with the earlier studies, our results were found higher than their results; 1.84 ml 100g<sup>-1</sup> (Baser et al., 1996), 1.87 ml 100g<sup>-1</sup> (Ozguven and Kirici, 2002), 1.02 ml 100g<sup>-1</sup> (Tepe et al., 2004), 2.24-2.29 ml 100g<sup>-1</sup> (Ozguven and Sekeroglu, 2008), 0.03-0.72 (Azaz et al., 2010), 1.04 (Ulukanli et al., 2018). Mid-flowering resulted in the highest leaves essential oil yield (0.41 ml plant<sup>-1</sup>) which was 3 and 95 percent higher than the growth stage of full-flowering and pre-flowering, respectively. Full-flowering resulted in the highest flowers essential oil yield (2.47 ml plant<sup>-1</sup>) which was 38 percent higher than the growth stage of mid-flowering, respectively. However, to the best of our knowledge, the essential oil rate of leaves and flowers were separately examined for the first time. It is believed that these different results are due to plant material, morphogenetic, and ontogenetic variability, as well as different collection areas due to ecological conditions.

Table 1. Morphological traits of *Thymus eigii* at various growth stages

Morphological traits	Pre-flowering	Mid-flowering	Full-flowering	Mean	LSD <sup>a</sup>	CV <sup>b</sup>	Significance
Plant Height (cm)	32.31B	35.24A	36.11A	34.55	1.50	8.49	**
Plant diameter (cm)	45.75B	55.67A	57.30A	52.91	2.19	8.10	**
Fresh herb yield (g plant <sup>-1</sup> )	176.24C	209.82B	251.31A	212.46	6.37	5.85	**
Fresh leaves yield (g plant <sup>-1</sup> )	33.40B	38.97A	27.33C	33.23	2.03	11.94	**
Fresh flower yield (g plant <sup>-1</sup> )	-	121.94B	158.24A	120.84	5.10	7.05	**
Dry herb yield (g plant <sup>-1</sup> )	54.52C	67.43B	84.73A	68.89	3.24	9.17	**
Dry leaves yield (g plant <sup>-1</sup> )	14.33B	16.72A	12.67C	14.57	1.29	17.29	**
Dry flowers yield (g plant <sup>-1</sup> )	-	37.71B	53.63A	45.67	3.11	13.21	**
Leaves essential oil rate (ml 100g <sup>-1</sup> )	2.77A	2.43B	1.67C	2.29	0.14	3.14	**
Flowers essential oil rate (ml 100g <sup>-1</sup> )	-	4.75A	4.60B	4.68	0.12	1.16	*
Leaves essential oil yield (ml plant <sup>-1</sup> )	0.40A	0.41A	0.21B	0.34	0.02	16.27	**
Flowers essential oil yield (ml plant <sup>-1</sup> )	-	1.79B	2.47A	2.13	0.14	13.14	**

<sup>a</sup>: Least significant difference, <sup>b</sup>: Coefficient of variation, \*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ , Levels not connected by the same letter are significantly ( $p < 0.05$ ) different according to the Least Significant Difference test.



### 3.2. Chemical Composition of Essential Oil

The chemical composition of essential oils for *T. eigii* was analyzed by GC/MS, and obtained results were summarized (Table 2). The chemical composition of essential oils varied according to growth stages and organs. Representative GC-MS chromatograms of the essential oil were given in Figure 1. Twenty-seven compounds were found, representing 94.10-98.84% of the total essential oil.

The major compounds for *T. eigii* were carvacrol (70.87-77.98%), p-Cymene (3.39-7.46%),  $\beta$ -Caryophyllene (3.90-5.17%),  $\gamma$ -Terpinene (0.58-5.15%), Isoborneol (0.30-3.58%), respectively. For carvacrol, the highest values were obtained from the flowers in mid-flowering and full flowering, and from leaves in pre-flowering. Compared to leaves and flowers, carvacrol was found in higher amounts in the flowers. In several previous studies, carvacrol was obtained as the main compound in the essential oils of *T. eigii* by the researchers; 64.61% (Baser et al., 1996), 56.71% (Ozguven and Kirici, 2002), 43.63% (Azaz et al., 2010). Our results were found higher than them with a mean of 74.84%. However, Tepe et al. (2004) and Ulukanli et al. (2018) reported the main compound as thymol. For p-Cymene, the highest values were obtained from the leaves in full-flowering time. Similar to what we detected in this study, p-Cymene was found as the second-highest compound by the researchers; 7.41 (Baser et al., 1996), 13.0% (Tepe et al., 2004). Similar to Baser et al. (1996) and Tepe et al. (2004)  $\beta$ -caryophyllene was determined as the third-highest compound in this study.

Compared to carvacrol content of some other plants from the *Thymus* genus, it was reported in *T. vulgaris*; 84.10% (Thompson et al., 2003), 2.80% (Rota et al., 2008), 10.30% (Pavela and Sedláč, 2018), 6.65-8.70% (Gedikoglu et al., 2019) 53.67% (György et al., 2020); in *T. serpyllum* 4.7% (Nikolić et al., 2014), 17.4% (Galovičová et al., 2021); in *T. pulegioides*

21.23% (Mockute and Bernotiene, 2001), %16.83 (Vaičiulytė et al., 2017); in *T. praecox* 1.08% (Ozen et al., 2011), 22.20% (Avci, 2011); in *T. algeriensis* 1.70% (Dob et al., 2006), 7.76% (Ait-Ouazzou et al., 2011), 14.00% (Nikolić et al., 2014), in *T. zygis* 3.45% (Sotomayor et al., 2004), 3.12% (Jordán et al., 2009). Tumen et al. (1995) reported that *Thymus* genera grown in Turkey with high carvacrol content are *T. eigii* (between 30-65), *T. kotschyanus* var. *glabrescens* (53%), *T. kotschyanus* var. *kotschyanus* (60%), *T. longicaulis* subsp. *chaubardii* var. *chaubardii* (42%), *T. siphthorpii* (39-40%), *T. zygioides* var. *lycaonicus* (62%). There is higher carvacrol in *T. eigii*, among the *Thymus* spp. grown in Turkey. In the findings, it can be observed that the carvacrol content of reported some *Thymus* species does not reach the carvacrol content of *T. eigii*. Carvacrol is a monoterpene phenol found in the essential oils of oregano and thyme (Campana and Baffone, 2018). It has stronger antibacterial properties than the other volatile compounds found in oregano and thyme essential oils (Sharifi-Rad et al., 2018). Carvacrol's antibacterial effect involves the breakdown of the cytoplasmic membrane, which increases permeability and depolarizes potential, and various genetic and environmental variables can impact its antibacterial activity (Xu et al., 2008; Ait-Ouazzou et al., 2013). It is a GRAS (generally recognized as safe) chemical that can be used as a food additive in China, the United States, and the European Union (Liu et al., 2021). Moreover, Kulkarni et al. (2020) indicated that carvacrol, in particular, has great potential as a coronavirus inhibitor. Javed et al. (2021) hypothesized on the probable mechanism of a carvacrol protective effect against a COVID-19 infection, citing carvacrol's three bioactive activities as immunomodulatory, anti-inflammatory, and antiviral. Evidently, the composition of essential oils is an important marker in medicinal and aromatic plants that has been influenced by a number of factors such as plant species, plant age, climatic conditions, agricultural practices, plant development stages, soil properties, post-harvest processing.

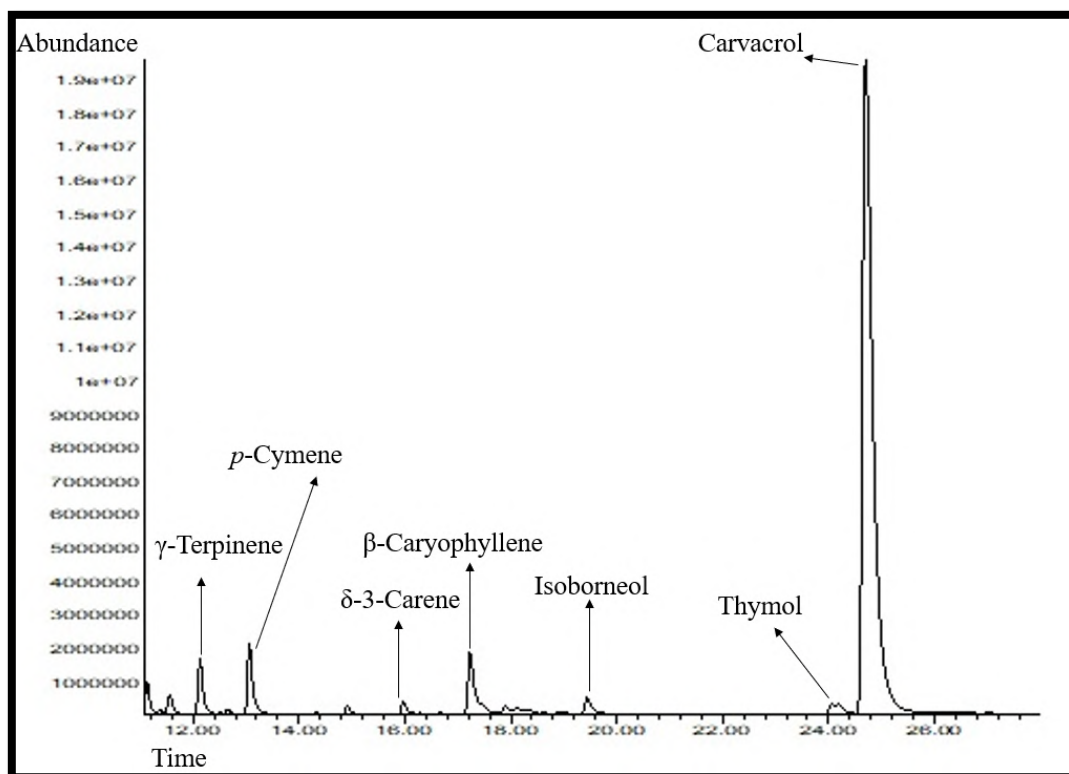


Figure 1. The representative GC/MS chromatogram of major essential oil compounds from *Thymus eigii*



Table 2. Essential oil compounds of *Thymus eigi* from different growth stages and organs

Essential Oil Compounds	RT	Growth Stages					LSD (%5)
		Pre-Flowering	Mid-Flowering	Mid-Flowering	Full-Flowering	Full-Flowering	
		Organs					
		Leaves	Leaves	Flowers	Leaves	Flowers	
Relative Peak Area (%)							
Myrcene	11.134	0.80	0.57	1.43	-	1.35	-
Alpha-Phellandrene	11.372	0.11	-	0.18	0.52	0.15	-
$\alpha$ -Terpinene	11.556	0.84	0.59	1.59	-	1.13	-
<b><math>\gamma</math>-Terpinene**</b>	<b>12.132</b>	<b>2.14C</b>	<b>0.58E</b>	<b>5.15A</b>	<b>0.92D</b>	<b>3.11B</b>	<b>0.27</b>
Terpinolene	12.517	-	0.04	-	0.05	0.13	-
Eucalyptol	12.654	0.10	0.31	0.30	0.59	0.36	-
<b><i>p</i>-Cymene**</b>	<b>13.063</b>	<b>4.74C</b>	<b>6.82B</b>	<b>3.39E</b>	<b>7.46A</b>	<b>4.38D</b>	<b>0.06</b>
3-Octanol	14.909	0.29	0.28	0.36	0.37	0.16	-
1-Octen-3-Ol	14.915	1.16	1.01	-	1.30	0.60	-
$\beta$ -Bourbonene	15.526	0.20	0.40	0.04	0.28	0.09	-
$\delta$ -3-Carene	15.972	0.82	1.17	0.55	1.31	0.91	-
3-Carene	16.298	0.30	0.35	0.07	0.35	-	-
Valencene	16.678	0.25	0.37	0.17	0.23	0.18	-
<b>Beta-Caryophyllene**</b>	<b>17.236</b>	<b>4.48C</b>	<b>5.08AB</b>	<b>5.17A</b>	<b>3.90D</b>	<b>4.97B</b>	<b>0.16</b>
Bornyl Acetate	17.901	-	-	-	0.95	0.70	-
$\delta$ -Cadinene	18.108	-	-	0.48	0.32	0.48	-
Bisabolene	18.257	0.97	0.14	0.18	0.15	0.19	-
Aromadendrene	18.334	-	-	-	-	0.25	-
$\alpha$ -Cadinene	18.625	-	0.21	0.12	0.10	0.12	-
Estragole	18.844	0.62	0.49	-	-	-	-
$\delta$ -2-Carene	19.016	-	-	0.16	-	0.24	-
<b>Isoborneol**</b>	<b>19.444</b>	<b>1.31C</b>	<b>3.58A</b>	<b>0.30D</b>	<b>3.05B</b>	<b>1.36C</b>	<b>0.21</b>
(-)-Carvone	21.034	-	-	0.08	0.05	0.08	-
Thymoquinone	21.420	-	1.24	-	0.90	-	-
Carvomenthene	21.527	-	-	0.02	-	-	-
Thymol	24.067	0.51	-	0.61	0.65	0.62	-
<b>Carvacrol*</b>	<b>24.708</b>	<b>76.75A</b>	<b>70.87B</b>	<b>77.98A</b>	<b>71.32B</b>	<b>77.27A</b>	<b>3.93</b>
Total		96.39	94.10	98.33	94.77	98.84	

\*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ , Levels not connected by the same letter are significantly ( $p < 0.05$ ) different according to the Least Significant Difference test.

### 3.3. Principal component analysis (PCAbiplot) on correlations and heatmap according to essential oil compounds of *Thymus eigi* leaves and flowers in various growth stages

PCAbiplot plays an important role to express a data source, where several components can best reflect the variance of the data. It allows to narrow the data and show the connections among the variables that make up the data. Through this analysis, one can clearly see the positive and negative correlations. There is a positive correlation between the lines that are in the same direction and close to each other, while there is a negative correlation between the opposite and distant lines. PCAbiplot on correlations was performed to visualize the effect of growth stages and plant organs (Figure 2). The experimental groups were separately discriminated using principal component analysis on correlations. Clear discrimination was revealed on

the plotted scores, where component 1 and component 2 accounted for 92.90% of the total variance in terms of the essential oil components. The first axis and second axis explained 57.80% and 35.10% of the total variance, respectively. As seen in the figure, PCAbiplot indicates that carvacrol was positively correlated with  $\gamma$ -Terpinene. *p*-Cymene and isoborneol were negatively correlated with carvacrol.

The changes in essential oil compounds were visualized using a heat map. According to the heat map (Figure 3), the essential oil compounds were visualized based on the leaves and flowers in various growth stages. The differences can be observed clearly between growth stages and plant organs in the essential oil compounds. For instance, while the rate of carvacrol in the leaves was the highest in the pre-flowering harvest, this rate decreased as the harvests were delayed, but this situation did not show a similar trend in flowers.

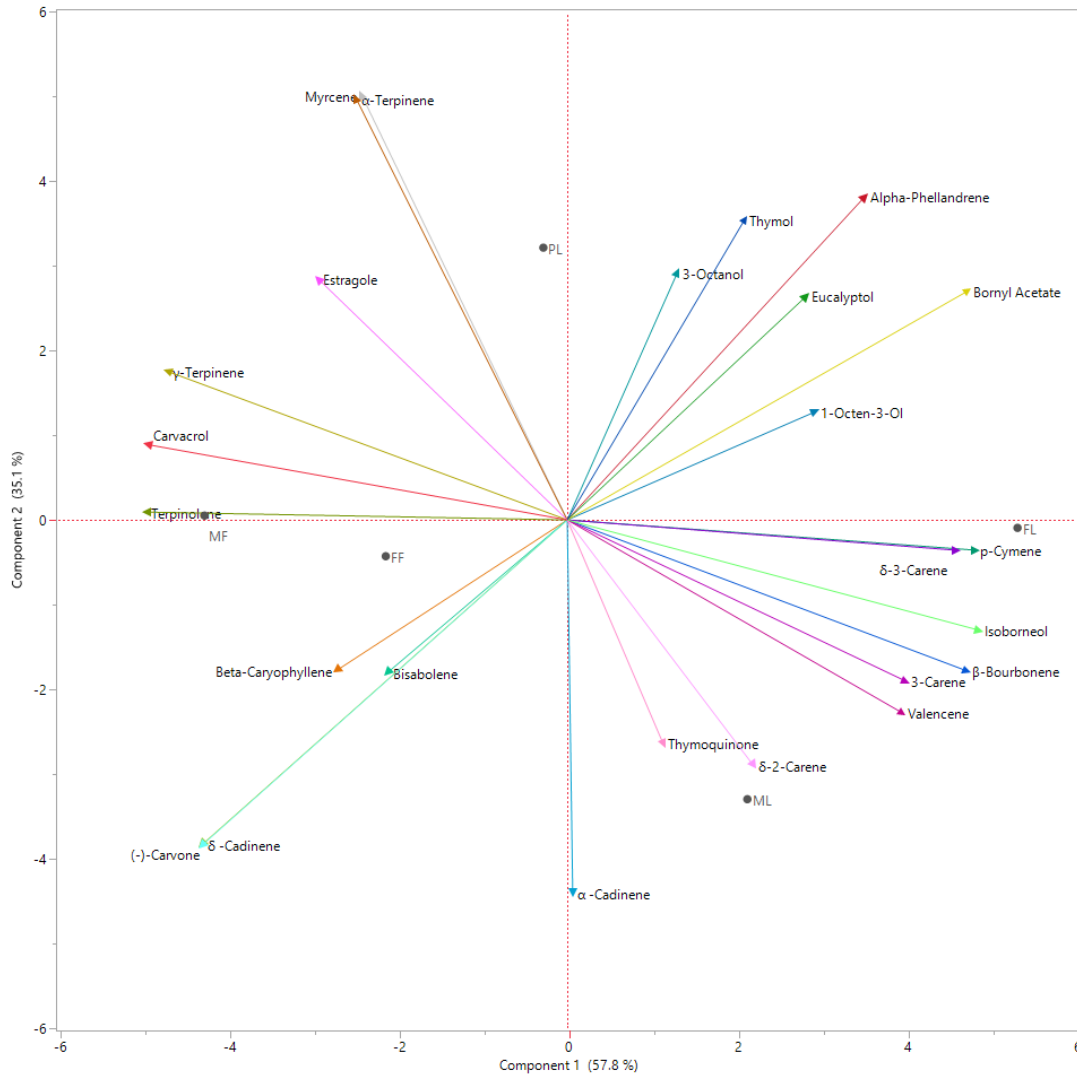


Figure 2. Principal component analysis on correlations of essential oil compounds (P: pre-flowering, M: mid-flowering, F: full-flowering; L: Leaves F: Flowers).

Value 0 80

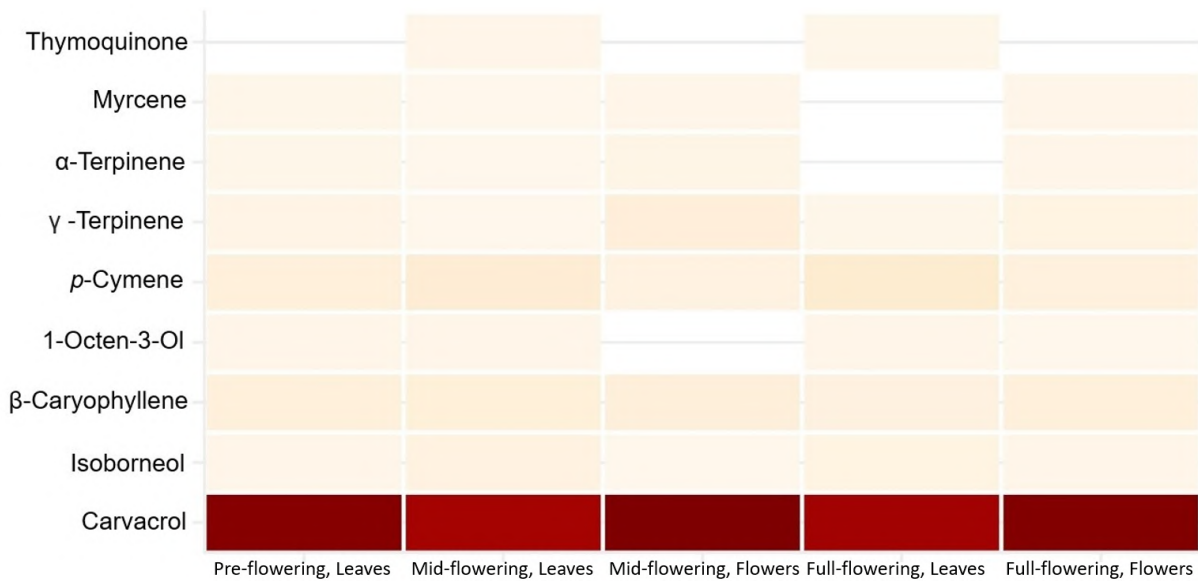


Figure 3. Heatmap based on the growth stages and plant organs for the main essential oil compounds of *Thymus eigi* (Value=%).

## 4. Conclusions and Recommendations

The active chemicals in plant organs used as drug fluctuate based on the plant's growth stages as well as variations in temperature and light during the day. Carvacrol, which is high in *T. eigii*, has great potential as a coronavirus inhibitor. When evaluated for the production of essential oil and carvacrol, flowers contained more carvacrol and essential oil than the leaves at mid-flowering and full-flowering. Considering its trade as a spice, pre-flowering harvest is recommended due to its high content of essential oil and carvacrol in the leaves. When considering these changes, it is important to determine which organs of the plant, at what stage of growth, and when the drug is best obtained. *Thymus* spp. essential oils and leaves are utilized for a variety of purposes. Therefore, among the most significant criteria to consider in cultivation are leaves and essential oil yield. It appears that cultivation of genus *Thymus* plants is required to provide economic profits for farmers as well as standardized quality for various purposes. It is suggested that further agronomic studies should be carried out to focus on studies to obtain higher quality products required by the market and to examine the yield and quality of *Thymus eigii* species in different regions.

## 5. Acknowledgment

Thanks are given to Prof. Dr. Ahmet İlçim for his helpful taxonomical identification of the plant material.

## References

- Ait-Ouazzou, A., Espina, L., Gelaw, T. K., de Lamo-Castellví, S., Pagán, R., & García-Gonzalo, D. (2013). New insights in mechanisms of bacterial inactivation by carvacrol. *Journal of Applied Microbiology*, 114(1), 173-185.
- Ait-Ouazzou, A., Lorán, S., Bakkali, M., Laglaoui, A., Rota, C., Herrera, A., ... & Conchello, P. (2011). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of *Thymus algeriensis*, *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis* from Morocco. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(14), 2643-2651.
- Avcı, A. B. (2011). Chemical variation on the essential oil of *Thymus praecox* ssp. *scorpilii* var. *laniger*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 13(4).
- Azaz, A. D., Kucukbay, Z., Çelen, S., Kuyumcu, E., & Yildiz, B. (2010). Chemical composition, antimicrobial and antioxidant properties of *Thymus eigii* M. Zohary & PH Davis essential oil. *Int. J. Essent. Oil Ther*, 4, 17-22.
- Baser, K. H. C., Kürkçüoğlu, M., Tümen, G., & Sezik, E. (1996). Composition of the essential oil of *Thymus eigii* (M. Zohary et PH Davis) Jalas from Turkey. *Journal of Essential Oil Research*, 8(1), 85-86.
- Baydar, H. (2016). Medicinal and aromatic plants science and technology book (Extended 5th Edition). Suleyman Demirel University Faculty of Agriculture, Publication No: 51. Isparta.
- Campana, R., & Baffone, W. (2018). Carvacrol efficacy in reducing microbial biofilms on stainless steel and in limiting re-growth of injured cells. *Food Control*, 90, 10-17.
- Davis, P. H. (1982). Flora of Turkey and the East Aegean Islands; University Press: Edinburgh, Scotland, Vol. 7, pp 349- 382.
- Dob, T., Dahmane, D., Benabdelkader, T., & Chelghoum, C. (2006). Studies on the essential oil composition and antimicrobial activity of *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut. *International Journal of Aromatherapy*, 16(2), 95-100.
- Eurostat. (2021). Retrieved 14 October 2021, from <https://ec.europa.eu/eurostat>
- Galovičová, L., Borotová, P., Valková, V., Vukovic, N. L., Vukic, M., Terentjeva, M., ... & Kačániová, M. (2021). *Thymus serpyllum* Essential Oil and Its Biological Activity as a Modern Food Preserver. *Plants*, 10(7), 1416.
- Gedikoglu, A., Sökmen, M., & Çivit, A. (2019). Evaluation of *Thymus vulgaris* and *Thymbra spicata* essential oils and plant extracts for chemical composition, antioxidant, and antimicrobial properties. *Food science & nutrition*, 7(5), 1704-1714.
- Genesys 2021. Genesys Global Portal on Plant Genetic Resources. [www.genesys-pgr.org](http://www.genesys-pgr.org). (Accessed 05.09.2021).
- György, Z., Incze, N., & Pluhár, Z. (2020). Differentiating *Thymus vulgaris* chemotypes with ISSR molecular markers. *Biochemical Systematics and Ecology*, 92, 104118.
- Javed, H., Meeran, M. F. N., Jha, N. K., & Ojha, S. (2020). Carvacrol, a Plant Metabolite Targeting Viral Protease (Mpro) and ACE2 in Host Cells Can Be a Possible Candidate for COVID-19. *Frontiers in Plant Science*, 11.
- Jordán, M. J., Martínez, R. M., Martínez, C., Monino, I., & Sotomayor, J. A. (2009). Polyphenolic extract and essential oil quality of *Thymus zygis* ssp. *gracilis* shrubs cultivated under different watering levels. *Industrial Crops and Products*, 29(1), 145-153.
- Kocabas, Y. Z., & Karaman, S. (2001). Essential oils of Lamiaceae family from south east Mediterranean region (Turkey). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4(10), 1221-1223.
- Könemann, B. J. H. K. G. C. P. (1999). The illustrated AZ of over 10,000 garden plants and how to cultivate them. 51-53.
- Kulkarni, S. A., Nagarajan, S. K., Ramesh, V., Palaniyandi, V., Selvam, S. P., & Madhavan, T. (2020). Computational evaluation of major components from plant essential oils as potent inhibitors of SARS-CoV-2 spike protein. *Journal of Molecular Structure*, 1221, 128823.
- Liu, F., Jin, P., Sun, Z., Du, L., Wang, D., Zhao, T., & Doyle, M. P. (2021). Carvacrol oil inhibits biofilm formation and exopolysaccharide production of *Enterobacter cloacae*. *Food Control*, 119, 107473.
- Mockute, D., & Bernotiene, G. (2001). The  $\alpha$ -terpenyl acetate chemotype of essential oil of *Thymus pulegioides* L. *Biochemical Systematics and Ecology*, 29(1), 69-76.
- Nikolić, M., Glamočlija, J., Ferreira, I. C., Calhelha, R. C., Fernandes, Á., Marković, T., ... & Soković, M. (2014). Chemical composition, antimicrobial, antioxidant and antitumor activity of *Thymus serpyllum* L., *Thymus algeriensis* Boiss. and Reut and *Thymus vulgaris* L. essential oils. *Industrial Crops and Products*, 52, 183-190.
- Ortiz PL, Fernandez I (1992). Microscopic Study of Honey and Apiary Pollci From the Province of Seville. Departamento de Biología Vegetal, Ecología facultad de Biología, Apdo, 1095.41080, Sevilla Spain, Abstract.
- Ozen, T., Demirtas, I., & Aksit, H. (2011). Determination of antioxidant activities of various extracts and essential oil compositions of *Thymus praecox* subsp. *scorpilii* var. *scorpilii*. *Food Chemistry*, 124(1), 58-64.
- Ozguven, M., & Kirici, S. (2002). Domestication and Determination of Drug and Essential Oil Yield of *Thymus eigii* (M. Zohary et PH Davis) Jalas. In Proceedings of the

- Workshop on Agricultural and Quality Aspects of Medicinal and Aromatic Plants (Vol. 29, pp. 255-261). 174-179.
- Ozguven, M., & Sekeroglu, N. (2008). The effects of different harvesting time and drying methods on the yield and essential oil content of *Thymus eigii* (M. Zohary et PH Davis) Jalas. In Proceedings of the Fifth Conference on Medicinal and Aromatic Plants of Southeast European Countries, (5th CMAPSEEC), Brno, Czech Republic, 2-5 September, 2008. Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno.
- Ozguven, M., & Tansi, S. (1998). Drug yield and essential oil of *Thymus vulgaris* L. as influenced by ecological and ontogenetical variation. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 22(6), 537-542.
- Pavela, R., & Sedlák, P. (2018). Post-application temperature as a factor influencing the insecticidal activity of essential oil from *Thymus vulgaris*. *Industrial Crops and Products*, 113, 46-49.
- Rasooli, I., & Mirmostafa, S. A. J. F. (2002). Antibacterial properties of *Thymus pubescens* and *Thymus serpyllum* essential oils. 73(3), 244-250.
- Rota, M. C., Herrera, A., Martínez, R. M., Sotomayor, J. A., & Jordán, M. J. (2008). Antimicrobial activity and chemical composition of *Thymus vulgaris*, *Thymus zygis* and *Thymus hyemalis* essential oils. *Food control*, 19(7), 681-687.
- Ryman, D. (1992). Aromatherapy: the encyclopedia of plants and oils and how they help you: Piatkus Books.
- Sharifi-Rad, M., Varoni, E. M., Iriti, M., Martorell, M., Setzer, W. N., del Mar, C. M., ... & Sharifi-Rad, J. (2018). Carvacrol and human health: a comprehensive review. *Phyther Res* 32: 1675–1687.
- Sotomayor, J. A., Martínez, R. M., García, A. J., & Jordán, M. J. (2004). *Thymus zygis* subsp. *gracilis*: watering level effect on phytomass production and essential oil quality. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 52(17), 5418-5424.
- Stahl-Biskup, E. J. J. o. E. O. R. (1991). The chemical composition of *Thymus* oils: a review of the literature 1960–1989. 3(2), 61-82.
- Tepe, B., Daferera, D., Sökmen, M., Polissiou, M., & Sökmen, A. (2004). In vitro antimicrobial and antioxidant activities of the essential oils and various extracts of *Thymus eigii* M. Zohary et PH Davis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1132-1137.
- Thompson, J. D., Chalchat, J. C., Michet, A., Linhart, Y. B., & Ehlers, B. (2003). Qualitative and quantitative variation in monoterpene co-occurrence and composition in the essential oil of *Thymus vulgaris* chemotypes. *Journal of Chemical Ecology*, 29(4), 859-880.
- TUBIVES (2021). Retrieved 14 October 2021, from <http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php>
- Tumen, G., Kirimer, N., & Baser, K. (1995). Composition of the essential oils of *Thymus* species growing in Turkey.
- Ulukanli, Z., Cenet, M., Ince, H., & Yilmaztekin, M. (2018). Antimicrobial and herbicidal activities of the essential oil from the Mediterranean *Thymus eigii*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 21(1), 214-222.
- Vaičiulytė, V., Ložienė, K., Taraškevičius, R., & Butkienė, R. (2017). Variation of essential oil composition of *Thymus pulegioides* in relation to soil chemistry. *Industrial Crops and Products*, 95, 422-433.
- Xu, J., Zhou, F., Ji, B. P., Pei, R. S., & Xu, N. (2008). The antibacterial mechanism of carvacrol and thymol against *Escherichia coli*. *Letters in Applied Microbiology*, 47(3),





# Kekik ile Doğal Boyama Yapılan Hatay İpeğinin Haslık Sonuçlarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemiyle En Uygun Seçeneğinin Belirlenmesi

Meral Özomay\*

\* Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0138-0060), [meralozomay@gmail.com](mailto:meralozomay@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 15 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010330)

**ATIF/REFERENCE:** Özomay, M. (2021). Kekik ile Doğal Boyama Yapılan Hatay İpeğinin Haslık Sonuçlarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemiyle En Uygun Seçeneğinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 531-538.

## Öz

Bu çalışmada Hatay İpeği ele alınmıştır. Türkiye'nin güneyinde, genellikle Hatay'ın ilçelerinde mahalli tezgâhlarda dokunarak örtünme veya çeşitli giyim eşyası olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada doğal ekru renkteki ipek kozasından elde edilen iplikle dokunmuş Hatay İpeği'nin renklendirilmesi üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla Akdeniz Bölgesi'nde sıklıkla yetiştirilen bir bitki olan kekik bitkisi boya için tercih edilmiş ve 3 farklı mordanın toplamda 15 farklı konsantrasyonu ile boyanmıştır. Boyanan Hatay İpeği numunelerinin yıkama haslıkları ile ışık haslıkları yapılarak, CIE L\*a\*b renk uzay sisteminde hesaplanan renk farkları ve renk verimlilikleri karşılaştırılmıştır. Uygun boyama reçetesinin belirlenmesi için Gri İlişkisel Analiz Yöntemi kullanılmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Gri İlişkisel Analiz (Grey Relational Analysis) az ya da çok ve farklı seviyede bilgi, çoklu kriter ve karar vermenin karmaşık olduğu durumlarda başvurulabilecek etkili bir yöntemdir. Bu çalışmanın amacı, geleneksel el sanatlarının yaşatılması, bölgesel iş gücü istihdamının güçlendirilmesi, iç ve dış pazarlarda ürün payının artırılması için Hatay İpeği üreticilerine doğru doğal boya reçetesi ile destek olmaktır. Hatay İpeği'nin kekikle boyanmasında yıkama ve ışık haslığı sonrası minimum renk farkı ve maksimum renk verimi değerleri elde etmek için kullanılacak en iyi boyama özellikleri Quercus Aegilops doğal mordanı ile %20 konsantrasyonda kullanılarak elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hatay İpeği, Çok Kriterli Karar Verme, Gri İlişkisel Analiz, Doğal Boyama.

## Determination of The Most Suitable Option of The Fastness Results of Hatay Silk Made of Natural Dyeing with Thymus Vulgaris by Multi-Criteria Decision-Making Method

### Abstract

Hatay Silk is discussed in this study. In the south of Turkey, it is generally used as a covering or various clothing items by weaving on local looms in the districts of Hatay. In this study, it was studied on the coloring of Hatay Silk woven with yarn obtained from natural ecru silk cocoon. For this purpose, thyme plant, which is a plant frequently grown in the Mediterranean Region, was preferred for dye and dyed with a total of 15 different concentrations of 3 different mordants. Color differences and color efficiency calculated in CIE L\*a\*b color space system were compared by making the washing fastness and light fastness of dyed Hatay Silk samples. Gray Relational Analysis Method was used to determine the appropriate dyeing recipe. Gray Relational Analysis, which is one of the multi-criteria decision-making methods, is an effective method that can be applied in situations where more or less information, multiple criteria and decision making are complex. The aim of this study is to support Hatay Silk producers with the right natural dye recipe in order to keep traditional handicrafts alive, strengthen regional workforce employment, and increase the product share in domestic and foreign markets. In order to obtain minimum color difference and maximum color yield values after washing and light fastness in dyeing Hatay Silk with thyme, the best dyeing properties were obtained by using Quercus Aegilops natural mordant at 20% concentration.

**Keywords:** Hatay Silk, Multi-Criteria Decision Making, Grey Relational Analysis, Natural Dyeing

\* Sorumlu Yazar: [meralozomay@gmail.com](mailto:meralozomay@gmail.com)

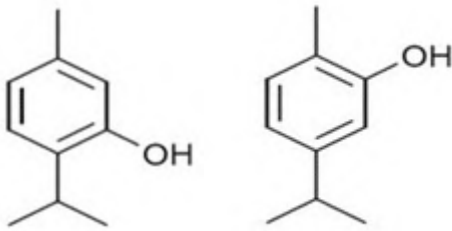
## 1. Giriş

İpekböcekçiliği üretimi, bugün de tıpkı eskiden olduğu gibi aynı ve doğal yöntemlerle üretilmeye devam etmektedir (Yurtoğlu, 2017; Hayat et. Al, 2021). İpekböceği yetiştiriciliği ve dokumacılığı emek yoğun bir faaliyet alanı olmasına rağmen halen ülkemiz istihdamına ve kültürüne katkı sağlayan bir iş koludur (Yılmaz, 2020). Geleneksel yöntemlerle üretilen ipek iplikleri yine geleneksel tezgahlarda dokunarak kumaş haline gelmekte ve nihai tüketiciye ulaştırılmaktadır (Akgül, 2021, Yanar & Erdoğan, 2019).

Hatay'da ipek böceği kozası ile ipek üretimi tarihe karışırken baba mesleği diye devam etmeye çalışan bazı aileler tarafından yaşatılmaya çalışılmakta ve Türkiye'ye tanıtılmaktadır (Kayabaşı, Karakelle & Söylemezoğlu, 2016).

Günümüzde Harbiye'de 'Büyükaşık', Samandağı'nda 'Arat' aileleri ipekli dokumacılığı ikinci ve üçüncü kuşaklara aktarmaya çalışan ailelerdendir (Eraslan, 2009). Hatay'da el dokumacılığı yapan her aile aynı zamanda ipek böceği yetiştiricisidir (Saçlı & Öztürk, 2020) ve Hatay ipekçiliği ve el dokumacılığı, babadan oğula geçen bir sanat kolu haline gelmiştir (Eraslan, 2009).

Kekik (*Thymus vulgaris*) türüne aittir (Sokat, 2021; Yüksek et. al., 2021; Batool et. al., 2021). Daha çok baharat olarak kullanılan kekik sarı renk boyamalar için ülkemizde Toros Dağlarındaki köylerde yün boyamacılığında kullanılmış ve haslıkları yüksek boyamalar elde edilmiştir (Hasan & Balos, 202; Akkaya, 2008). Türkiye'de *Origanum*, *Thymus*, *Thymbra*, *Saturaje*, *Sideritis* ve *Salvia* cinsi kekiklerin yoğun olarak yetiştiği bilinmektedir (Bardakçı & Yilmazer, 2007; Çelik & Ayran, 2020). Kekikteki uçucu yağlar timol ve karvakrol (Şekil 1) bileşenleri içerir. Bu maddeler, kekiğe özgü kokusunu veren ve antioksidan özellik kazandıran fenolik bileşiklerdir (Ural, Özomay & Özdemir, 2018). Kekik bitkisinin içerdiği boyarmadde Luteolin'dir. Uçucu yağların bazı test mikroorganizmalarına karşı bakteriyostatik aktivitelerinin olduğu ve sentetik antibiyotiklere alternatif olabileceği belirtilmektedir (Ezgi & Bulut, 2013; Wojdyło, Oszmiański & Czemerz, 2007).

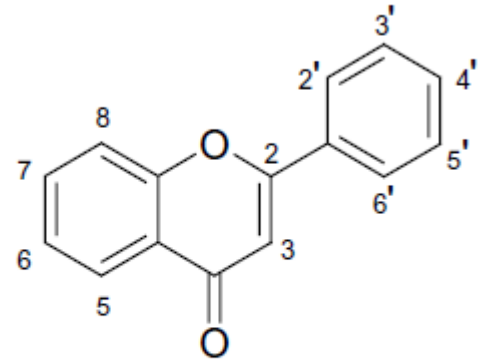


Şekil 1. *Thymus vulgaris* bitkisindeki temel yapı (timol ve karvakrol)

Doğal boyalara olan ilgi ekolojik ve çevresel kaygıların artmasıyla birlikte doğru orantılı bir şekilde gün geçtikçe artmaktadır. Çevre, üretim ve tüketim ekolojisi birlikte değerlendirildiğinde, çevresel (biyo-çözünürlüğe sahip) ve kanserojen, alerjik etki gibi sağlık problemlerine yol açmayan, üretim güvenliği olan doğal boyaların kullanılması ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Ayrıca kekik bitkisinin

antimikrobiyal özelliklerin incelendiği (Benli & Yiğit, 2005; Rehman et. al., 2021), oksijen plazma ile ıslanma özellikleri geliştirilen pamuk, keten ve poliester materyaller, kitosan ve kekik yağı ile işlem gördükten sonra antimikrobiyal özelliklerin geliştiği (Surdu et. al., 2014; Adeel et. al., 2021), *Candida albicans* mantarına karşı antifungal etkinin incelendiği çalışmalar vardır (Vasconcelos et al., 2014).

Al (III), Fe (II), Sn (II) and Cu (II) mordanlarının kekik ekstraktındaki boya kompleksleri çöktürülerek HPLC-DAD ve FTIR analizi ile yapısal karakterizasyonları ve pigmentlerin termal dayanımı, termal bozunması ve termogravimertik analizleri (TGA) belirlenmiştir. Ayrıca antimikrobiyal aktivite de incelenmiş ve doğal boyada apigenin ve luteolin (Şekil 2) flavonlarının temel bileşen olduğu belirlenmiştir. Kekikten elde edilen boyanın antimikrobiyal aktivite gösterdiği, kaplama, boyama ve plastik endüstrisi için potansiyel uygulama alanı olabileceği belirtilmektedir Cakmakçı et. al., 2014).



Apigenin (4', 5, 7 - OH)

Luteolin (3', 4', 5, 7 - OH)

Şekil 2. *Thymus vulgaris* bitkisindeki temel fenolik bileşenler

%100 yünlü kumaşın *Mentha spicata* L. ve *Thymus vulgaris* L. bitki kaynaklarından elde edilen boyalar ile demir (II) sülfat mordanı kullanılarak yapılan boyamalarında kekikte kahverengi renk tonlarının elde edildiği ve K/S renk verimi ve haslık sonuçlarına göre kekik bitkisinin doğal boya kaynağı olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir (Arlı, Kayabaşı & Ilgaz 1993; Tutak, Gülcan & Akman, 2014). Kullanılan mordana bağlı olarak *Thymus* türlerinin toprak üstü aksamlarından sarı, kahverengi, yeşil-gri renkler elde edilebileceği açıklanmaktadır (Arslan & Kızıl, 2001; Akkaya & Eyupoglu 2016; Khan et al., 2021).

İçerisinde kekik bitkisinin de yer aldığı birçok bitki ekstraktından elde edilen boyaların lif boyama kapasitesi, antioksidan potansiyeli kolorimetrik, kromatografik yöntemler ve demir tiosiyanat deneyi [ferric thiocyanate assay (FTC)] yöntemi ile incelenmiştir. *Thymus vulgaris* bitki ekstraktının da yüksek antioksidan etkisi olduğu, selüloza afinitesinin yüksek olduğu ve kenevir lifinde koyu parlak tonlar elde edildiği belirtilmektedir (Guinot et. al., 2007; Sundhu et. al., 2021; Habib et. al., 2021).

Kekik ve nar kabuğu kaynaklı doğal boyalar ile boyanmış pamuklu materyallerin renk, antimikrobiyal ve haslık özelliklerinin incelendiği araştırmada ekolojik problemlere

neden olan ağır metal tuzları yerine potasyum alüminyum sülfat, bakır (II) sülfat, demir (II) sülfat ve kalay (II) klorür kullanılmış, mordanlanmamış örneklerle mordanlanmış örnekler, renk kuvveti (K/S), renk değerleri ve haslık özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Boyamalarda mordanlanmamış örneklerde antimikrobik özellik görülmezken mordanlandıktan sonra boyanmış örneklerin antimikrobik özelliklerinin geliştiği belirtilmektedir (Davulcu et. al., 2014; Ozomay et al., 2019).

Zirkonyum nano parçacıklarının önce sentez edilerek yüne uygulandığı ve ardından kekik bitkisi kaynaklı boya ile boyama yapıldığı çalışmada güç tutuşurluk ve antibakteriyel özellikler araştırılmıştır. %1,3,6 ve 9 oranında zirkonyum nano parçacıklar mordan olarak materyale uygulanmış ve zirkonyumdaki değişimler Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopi ile (Fourier-transform infrared spectra-FTIR) analiz edilmiştir. Örneklerin güç tutuşurluk testleri yatay güç tutuşurluk testi (horizontal flammability test- HFT) ile yapılmış, antibakteriyel özellikler de gram-negatif bacterium E.coli ve gram-pozitif bacterium Staphylococcus aureus un büyüme azalması ile tayin edilmiştir. İşlem görmemiş ve görmüş kumaşların yüzey analizleri taramalı elektron mikroskobu ile (scanning electron microscopy-SEM) belirlenmiştir (Taheri et. al., 2015; Ozomay et. al., 2021; Söz et. al., 2021).

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada boyama parametrelerinin optimizasyonu için Gri İlişkisel Analizi (GİA) Yöntemi kullanılmıştır. Çok kriterli

karar verme yöntemlerinden biri olan GİA, her geçen gün kendine daha fazla yer bulan ve farklı alanlardaki uygulamalarda kullanılan bir yöntemdir. Çok kriterli, karmaşık ve zor olan kararlarda başvurulabilecek etkili bir yöntemdir. Bu çalışmada, %100 pamuk ipliğiyle dokunan ve Türkiye'nin yöresel dokumalarından olan Hatay İpeği, ön mordanlama yöntemi ile 3 farklı mordanla 5 farklı konsantrasyonla mordanlanmıştır. C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> (Sitrik Asit) mordanı ile %2, %4, %6, %8, %10 konsantrasyonlarda, KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> .12 H<sub>2</sub>O (Potasyum Alüminyum Sülfat) mordanı ile %3, %5, %10, %15, %20 konsantrasyonlarda ve doğal mordan olarak kullanılan Quercus Aegilops (Meşe Palamudu) bitkisi ile de %3, %5, %10, %15 ve %20 konsantrasyonlarda 1/100 Flotte oranında 100°C'de 60 dk. süre ile kaynatılarak mordanlanmıştır. 24 saat bu banyoda bekletildikten sonra kurutulmuşlardır. Kekik bitkisi kullanılarak elde edilen ekstraktan numune gramajı baz alınarak %100 oranında bitki oranında ekstrakt kullanılmıştır. Mordanlanan numuneler yine 1/100 Flotte oranında %100 bitki kullanarak 100°C'de 60 dk. süre ile kaynatılarak boyanmıştır. 24 saat bu banyoda bekletildikten sonra kurutulmuşlardır. Boyanmış numunelerin yıkama haslıkları, ISO 105-C06 standardına göre [ISO 105- C06] yıkama haslığı test makinesinde (Gyrowash / James H. Heal Co. Ltd.) gerçekleştirilmiş ve renk farkları, lekelemeleri ve renk verimi spektrofotometre (Datacolor SF600+) ile tespit edilmiştir. Işık haslıkları ise ISO 105 – B02 ISO standardına göre [TS 1008 EN ISO 105-B02] ışık haslığı test cihazında (James H. Heal) uygulanmıştır.

Tablo 1. Deney verileri kısaltmaları

KOD	Açıklama	KOD	Açıklama
ΔE	Mordansıza Göre Renk Farkı	1-D	%8 C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>
ΔE Y	Yıkama Haslığı (Renk Değişimi)	1-E	%10 C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>
ΔE 1	Yıkama Haslığı (Lekeleme) Yün	2-A	%3 KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .12 H <sub>2</sub> O
ΔE 2	Yıkama Haslığı (Lekeleme) Poliakrilonitril	2-B	%5 KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .12 H <sub>2</sub> O
ΔE 3	Yıkama Haslığı (Lekeleme) Poliester	2-C	%10 KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .12 H <sub>2</sub> O
ΔE 4	Yıkama Haslığı (Lekeleme) Poliamid	2-D	%15 KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .12 H <sub>2</sub> O
ΔE 5	Yıkama Haslığı (Lekeleme) Pamuk	2-E	%20 KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .12 H <sub>2</sub> O
ΔE 6	Yıkama Haslığı (Lekeleme) Asetat	3-A	%3 Quercus Aegilops
ΔE I	Işık Haslığı	3-B	%5 Quercus Aegilops
K/S	Renk Verimi (Absorbsiyon katsayıları/Saçınım katsayıları)	3-C	%10 Quercus Aegilops
1-A	%2 C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	3-D	%15 Quercus Aegilops
1-B	%4 C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	3-E	%20 Quercus Aegilops
1-C	%6 C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	0	Mordansız

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Tablo 2. Renk farkı ve renk verimi deney sonuçları

Mordan	$\Delta E$	$\Delta E Y$	$\Delta E 1$	$\Delta E 2$	$\Delta E 3$	$\Delta E 4$	$\Delta E 5$	$\Delta E 6$	$\Delta E I$	K/S
1-A	2,397	2,105	1,177	1,281	0,706	0,8	1,585	3,677	7,277	10,35
1-B	2,071	3,777	0,995	1,082	0,653	0,75	1,93	3,152	7,104	9,17
1-C	3,559	3,131	1,034	1,199	0,603	0,507	2,406	4,587	4,931	8,82
1-D	2,646	7,456	0,863	1,238	0,513	0,832	2,476	3,689	6,15	10,46
1-E	2,586	4,893	1,214	0,976	0,428	0,701	2,73	4,335	5,37	9,05
2-A	7,633	3,568	1,012	1,485	0,61	0,967	1,961	4,19	5,474	10,36
2-B	9,924	1,496	1,294	1,893	1,18	1,307	2,878	2,786	9,786	10,92
2-C	7,682	3,607	1,081	1,202	0,617	0,889	3,193	3,828	5,789	13,66
2-D	16,859	4,02	1,139	1,182	0,567	0,671	1,583	3,449	7,71	10,34
2-E	3,704	4,561	0,82	0,9	0,623	0,714	2,077	3,499	6,696	9,35
3-A	14,014	1,736	1,033	1,537	1,014	1,229	3,327	4,258	6,533	11,88
3-B	3,906	3,019	1,02	1,833	0,916	1,144	2,969	3,4593	6,381	10,64
3-C	14,669	7,965	1,884	1,511	0,795	1,155	1,521	2,803	7,642	9,77
3-D	1,103	3,006	1,113	1,056	0,897	0,706	2,378	4,146	4,216	8,95
3-E	7,284	3,197	0,971	0,929	0,379	0,777	3,228	3,337	7,254	11,44
0	*	27,994	1,307	1,769	1,248	1,61	4,016	4,008	4,326	9,89

Hatay İpeği'nin kekik bitkisiyle 3 farklı mordanla boyanmasıyla yıkama ve ışık haslığı sonrası elde edilen  $\Delta E$  farkları ve renk verimi sonuçları Tablo 2.'de toplu olarak verilmiştir. Mordansız boyamaya göre en büyük renk farkı  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$  mordanının %15 konsantrasyonu ile yapılan boyamadan elde edilirken en düşük renk farkı Quercus Aegilops doğal mordanının %15 konsantrasyonu ile yapılan boyamadan elde edilmiştir. Tabloya göre yıkama sonrası renk değişimi en yüksek

numune mordansız yapılan boyamadan elde edilmiştir. Asetat, Pamuk, Poliamid, Poliester, Poliakrilonitril ve Yüne lekelemeler açısından mordanlar arasında belirgin bir farklılık oluşmamıştır. Yapılan ışık haslığı sonucu elde edilen renk farkı ve renk verimi değerlerine baktığımızda tüm mordanların bütün konsantrasyonları arasında ciddi bir farklılık olmadığı görülmektedir.

Tablo 3. Deneylerden elde edilen sonuçlar

KOD	$\Delta E Y$	$\Delta E 1$	$\Delta E 2$	$\Delta E 3$	$\Delta E 4$	$\Delta E 5$	$\Delta E 6$	$\Delta E I$	K/S
Referans	1,496	0,82	0,9	0,379	0,507	1,521	2,786	4,216	13,66
1-A	2,105	1,177	1,281	0,706	0,800	1,585	3,677	7,277	10,35
1-B	3,777	0,995	1,082	0,653	0,750	1,930	3,152	7,104	9,17
1-C	3,131	1,034	1,199	0,603	0,507	2,406	4,587	4,931	8,82
1-D	7,456	0,863	1,238	0,513	0,832	2,476	3,689	6,150	10,46
1-E	4,893	1,214	0,976	0,428	0,701	2,730	4,335	5,370	9,05
2-A	3,568	1,012	1,485	0,610	0,967	1,961	4,190	5,474	10,36
2-B	1,496	1,294	1,893	1,180	1,307	2,878	2,786	9,786	10,92
2-C	3,607	1,081	1,202	0,617	0,889	3,193	3,828	5,789	13,66
2-D	4,020	1,139	1,182	0,567	0,671	1,583	3,449	7,710	10,34
2-E	4,561	0,820	0,900	0,623	0,714	2,077	3,499	6,696	9,35
3-A	1,736	1,033	1,537	1,014	1,229	3,327	4,258	6,533	11,88
3-B	3,019	1,020	1,833	0,916	1,144	2,969	3,459	6,381	10,64
3-C	7,965	1,884	1,511	0,795	1,155	1,521	2,803	7,642	9,77
3-D	3,006	1,113	1,056	0,897	0,706	2,378	4,146	4,216	8,95
3-E	3,197	0,971	0,929	0,379	0,777	3,228	3,337	7,254	11,44
MAX	7,965	1,884	1,893	1,180	1,307	3,327	4,587	9,786	13,66
MIN	1,496	0,820	0,900	0,379	0,507	1,521	2,786	4,216	8,82



Tablo 3'e göre yıkama sonrası renk farkı ve lekelemelerin az olması daha iyi performansı göstermektedir. Renk verimi olan K/S'nin ise fazla olması daha iyi bir performansı göstermektedir.

Tabloda referans satırı oluşturularak, ilgili sütundaki verilerin hangi değere göre (Maksimum, Minimum ve İdeal değerlere göre) gri ilişkisinin hesaplandığını göstermektedir.

Tablo 4. Normalizasyon matrisi

KOD	ΔE Y	ΔE 1	ΔE 2	ΔE 3	ΔE 4	ΔE 5	ΔE 6	ΔE I	K/S
1-A	0,9058	0,6644	0,6163	0,5917	0,6337	0,9645	0,5052	0,4504	0,3161
1-B	0,6473	0,8355	0,8167	0,6579	0,6962	0,7735	0,7967	0,4815	0,0723
1-C	0,7472	0,7988	0,6988	0,7203	1	0,5099	0	0,8716	0
1-D	0,0786	0,9595	0,6596	0,8327	0,5937	0,4712	0,4986	0,6527	0,3388
1-E	0,4748	0,6296	0,9234	0,9388	0,7575	0,3305	0,1399	0,7928	0,0475
2-A	0,6797	0,8195	0,4108	0,7116	0,425	0,7563	0,2204	0,7741	0,3181
2-B	1	0,5545	0	0	0	0,2486	1	0	0,4338
2-C	0,6736	0,7546	0,6958	0,7028	0,5225	0,0741	0,4214	0,7175	1
2-D	0,6098	0,7001	0,7160	0,7652	0,795	0,9656	0,6318	0,3727	0,3140
2-E	0,5262	1	1	0,6953	0,7412	0,6921	0,6041	0,5547	0,1095
3-A	0,9628	0,7998	0,3585	0,2072	0,0975	0	0,1826	0,5840	0,6322
3-B	0,7645	0,8120	0,0604	0,3295	0,2037	0,1982	0,6261	0,6113	0,3760
3-C	0	0	0,3846	0,4806	0,19	1	0,9905	0,3849	0,1962
3-D	0,7665	0,7246	0,8429	0,3533	0,7512	0,5254	0,2448	1	0,0268
3-E	0,7370	0,8580	0,9707	1	0,6625	0,0548	0,6940	0,4545	0,5413
MAX	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MIN	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 4'te GİA yöntemine göre referans serisi oluşturulurken ΔE... değerleri için normalizasyon işlemi esnasında "Minimum;

daha düşük daha iyi" şeklinde değerlendirilirken K/S değeri için "Maksimum; daha yüksek daha iyi" şeklinde değerlendirilmiştir.

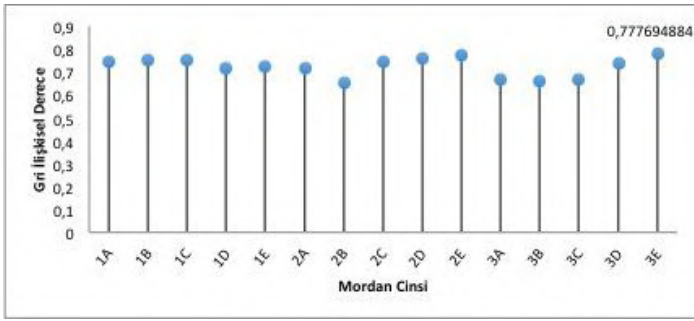
Tablo 5. Uzaklık matrisi

KOD	ΔE Y	ΔE 1	ΔE 2	ΔE 3	ΔE 4	ΔE 5	ΔE 6	ΔE I	K/S
1-A	0,0941	0,3355	0,3836	0,4082	0,3662	0,0354	0,4947	0,5495	0,6838
1-B	0,3526	0,1644	0,1832	0,3420	0,3037	0,2264	0,2032	0,5184	0,9276
1-C	0,2527	0,2011	0,3011	0,2796	0	0,4900	1	0,1283	1
1-D	0,9213	0,0404	0,3403	0,1672	0,4062	0,5287	0,5013	0,3472	0,6611
1-E	0,5251	0,3703	0,0765	0,0611	0,2425	0,6694	0,8600	0,2071	0,9524
2-A	0,3202	0,1804	0,5891	0,2883	0,575	0,2436	0,7795	0,2258	0,6818
2-B	0	0,4454	1	1	1	0,7513	0	1	0,5661
2-C	0,3263	0,2453	0,3041	0,2971	0,4775	0,9258	0,5785	0,2824	0
2-D	0,3901	0,2998	0,2839	0,2347	0,205	0,0343	0,3681	0,6272	0,6859
2-E	0,4737	0	0	0,3046	0,2587	0,3078	0,3958	0,4452	0,8904
3-A	0,0371	0,2001	0,6414	0,7927	0,9025	1	0,8173	0,4159	0,3677
3-B	0,2354	0,1879	0,9395	0,6704	0,7962	0,8017	0,3738	0,3886	0,6239
3-C	1	1	0,6153	0,5193	0,81	0	0,0094	0,6150	0,8037
3-D	0,2334	0,2753	0,1570	0,6466	0,2487	0,4745	0,7551	0	0,9731
3-E	0,2629	0,1419	0,0292	0	0,3375	0,9451	0,3059	0,5454	0,4586
MAX	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MIN	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Normalize edilen sonuçlar referans değeri olan sütundaki en büyük değer olan 1'den çıkarılarak gerekli olan uzaklık matrisi

Tablo 6. Gri ilişkisel derece matrisi

KOD	ΔE Y	ΔE 1	ΔE 2	ΔE 3	ΔE 4	ΔE 5	ΔE 6	ΔE I	K/S	GİD	Sıra
1-A	0,913	0,748	0,722	0,710	0,731	0,965	0,669	0,645	0,593	0,74461	7
1-B	0,739	0,858	0,845	0,745	0,767	0,815	0,831	0,658	0,518	0,75323	4
1-C	0,798	0,832	0,768	0,781	1	0,671	0,5	0,886	0,5	0,74869	5
1-D	0,520	0,961	0,746	0,856	0,711	0,654	0,666	0,742	0,601	0,71777	10
1-E	0,655	0,729	0,928	0,942	0,804	0,599	0,537	0,828	0,512	0,72652	9
2-A	0,757	0,847	0,629	0,776	0,634	0,804	0,561	0,815	0,594	0,71348	11
2-B	1	0,691	0,5	0,5	0,5	0,570	1	0,5	0,638	0,65570	15
2-C	0,753	0,803	0,766	0,770	0,676	0,519	0,633	0,779	1	0,74490	6
2-D	0,719	0,769	0,778	0,809	0,829	0,966	0,730	0,614	0,593	0,75696	3
2-E	0,678	1	1	0,766	0,794	0,764	0,716	0,691	0,528	0,77126	2
3-A	0,964	0,833	0,609	0,557	0,525	0,5	0,550	0,706	0,731	0,66418	13
3-B	0,809	0,841	0,515	0,598	0,556	0,555	0,727	0,720	0,615	0,66010	14
3-C	0,5	0,5	0,619	0,658	0,552	1	0,990	0,619	0,554	0,66600	12
3-D	0,810	0,784	0,864	0,607	0,800	0,678	0,569	1	0,506	0,73577	8
3-E	<b>0,791</b>	<b>0,875</b>	<b>0,971</b>	<b>1</b>	<b>0,747</b>	<b>0,514</b>	<b>0,765</b>	<b>0,647</b>	<b>0,685</b>	<b>0,77769</b>	<b>1</b>



Şekil 3. Gri ilişkisel analizi

Tablo 6 ve Şekil 3'te Hatay İpeği'nin kekikle boyanmasında yıkama ve ışık haslığı sonrası minimum renk farkı ve maksimum renk verimi değerleri elde etmek için kullanılan reçetelerin Gri İlişkisel Analiz Yöntemi'ne göre sıralaması verilmiştir. Bu sıralamaya göre Hatay İpeği'nin kekik bitkisi ile renklendirilmesinde tercih edilmesi gereken mordan cinsi ve miktarı sıralaması:

- 1: %20 Quercus Aegilops,
- 2: %20 KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> .12 H<sub>2</sub>O
- 3: %15 KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> .12 H<sub>2</sub>O
- 4: %4 C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>
- 5: %6 C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>
- 6: %10 KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> .12 H<sub>2</sub>O
- 7: %2 C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>
- 8: %15 Quercus Aegilops
- 9: %10 C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>

10: %8 C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>

11: %3 KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> .12 H<sub>2</sub>O

12 H<sub>2</sub>O 12: %10 Quercus Aegilops

13: %3 Quercus Aegilops

14: %5 Quercus Aegilops

15: %5 KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> .12 H<sub>2</sub>O

#### 4. Sonuç

Hatay İpeği'nin kekikle boyanmasında yıkama ve ışık haslığı sonrası minimum renk farkı ve maksimum renk verimi değerleri elde etmek için kullanılacak en iyi boyama özellikleri Quercus Aegilops doğal mordanı ile %20 konsantrasyonda kullanılarak elde edilmiştir. En iyi ikinci sıradaki değer KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> .12 H<sub>2</sub>O mordanı ile sırasıyla %20 konsantrasyonda gerçekleştirilmiştir. C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> mordanı kullanılarak yapılan boyamalarda en iyi değer %4 konsantrasyon ile elde edilirken en kötü değer %8 konsantrasyon ile elde edilmiştir. C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> mordanı ile yapılan boyamalarda konsantrasyon miktarına göre karışık bir sıralama oluşmuştur. C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> mordanı ile yapılan boyamalar sonucu elde edilen sıralama en iyiden kötüye doğru %4, %6, %2, %10 ve %8 şeklindedir.

KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> .12 H<sub>2</sub>O mordanı ile yapılan boyamalar arasında en iyi değeri %20 konsantrasyonla yapılan boyama sonucu verirken en kötü değeri %5 konsantrasyon vermektedir. KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> .12 H<sub>2</sub>O mordanı ile yapılan boyamalarda %5 konsantrasyondan %20 konsantrasyona kadar mordan miktarını arttırdıkça daha iyi değere ulaşıldığı tespit edilmiştir. KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> .12 H<sub>2</sub>O mordanı ile yapılan boyamalar sonucu elde edilen sıralama en iyiden kötüye doğru %20, %15, %10, %3 ve %5 şeklindedir.

Quercus Aegilops doğal mordanı kullanılarak yapılan boyamalarda en iyi değer en yüksek konsantrasyon olan %20 ile

elde edilirken en kötü değer %5 konsantrasyonla elde edilmiştir. Quercus Aegilops doğal mordanı ile yapılan boyamalarda %5 konsantrasyondan %20 konsantrasyona kadar mordan miktarını arttırdıkça daha iyi değere ulaşıldığı tespit edilmiştir. Quercus Aegilops doğal mordanı ile yapılan boyamalar sonucu elde edilen sıralama en iyiden kötüye doğru %20, %15, %10, %3 ve %5 şeklindedir.

İpek ipliklerde kekik ile yapılan boyamalar için tüm sonuçlar dikkate alındığında  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$  mordanının düşük konsantrasyonları ve Quercus Aegilops doğal mordanının düşük konsantrasyonları ile yapılan boyamaların yıkama ve ışık haslıklarının diğer mordanlara göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

## 5. Teşekkür

“Bu çalışma İstanbul Kalkınma Ajansı tarafından TR10/18/YMP/0137 proje numarası ile desteklenmiştir.

## Kaynakça

Akgül, K. (2021). Kırsal kalkınma bağlamında Türkiye'de ipek böcekçiliği: Bursa ili örneği (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).

Akkaya, M. (2008). Türkiye'de giyim eğitimi veren meslek liselerindeki öğrencilerin sanayi uygulamalarının işletmeler, öğrenciler ve koordinatör öğretmenler açısından değerlendirilmesi. Master tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Akkaya, M., & Eyupoglu, S. (2016). The examination of the effects of quercus aegilops extract used as natural mordant on colourfulness features of natural dyeing. In 2016 IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIconRusNW) (pp. 108-111). IEEE.

Ali Ahmad Khan, Shahid Adeel, Muhammad Azeem and Naeem Iqbal. 2021. Exploring natural colorant behavior of husk of durum (Triticum durum Desf.) and bread (Triticum aestivum L.) wheat species for sustainable cotton fabric dyeing. Environmental Science and Pollution research. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14241-6>.

Arli, M., Kayabaşı, N., & Ilgaz, F. (1993). El Dokuması Halıcılıkta Bitkisel Boya Kullanımının Önemi. 1993 (Cilt: 7), 38.

Arslan, N., & Kızıl, S. (2001). Boya Bitkileri. TİGEM, 79, 48-51.

Bardakçı, B., & Yılmaz, M. (2007). Isparta, Sütçüler Bölgesi Kekik Yağının Kimyasal Yapısının İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 2(1), 77-82.

Benli, M., & Yiğit, N. (2005). Ülkemizde yaygın kullanımı olan kekik (Thymus vulgaris) bitkisinin antimikrobiyal aktivitesi. Orhal On-Line Mikrobiyoloji Dergisi, 3(8), 1-8.

Cakmakçı, E., Deveoglu, O., Muhammed, A., Fouad, A., Torgan, E., & Karadag, R. (2014). HPLC-DAD analysis of Thymus serpyllum based natural pigments and investigation of their antimicrobial properties. Pigment & Resin Technology.

Çelik, S. A. & Ayran, İ. (2020). Antioksidan Kaynağı Olarak Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitkiler. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 13(2), 115-125.

Davulcu, A., Benli, H., Şen, Y., & Bahtiyari, M. I. (2014). Dyeing of cotton with thyme and pomegranate peel. Cellulose, 21(6), 4671-4680.

Eraslan, A. (2009). Antakya ve Çevresinde El Zanaatları/Handcraft in And Around Antioch. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 6(12), 373-402.

Ezgi, A. & Bulut, M. (2013). Bazı tekstil boya bitkilerinin antibakteriyel özellikleri ve aktivitesi için kullanılan test yöntemleri. Teknik Bilimler Dergisi, 3(2), 1-6.

Fatima Batool, Shahid Adeel, Muhammad Azeem and Naeem Iqbal. 2021. Natural Dye Yielding Potential And Compounds Of Selected Vegetable Residues Belonging To Brassicaceae: An Approach Towards Sustainability. Pakistan Journal of Botany 54(1): DOI: [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2022-1\(39\)](http://dx.doi.org/10.30848/PJB2022-1(39)).

Fazal-ur-Rehman, Shahid Adeel, Tanvir Ahmad, Abdul Mateen and Nimra Amin. 2021. Statistical Optimization of Parameters for Eco-Friendly Dyeing of Cotton using Direct Red 31 Dye. Journal of Natural Fibers. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1951420>

Guinot, P., Benong, I., Nicolett, G., Gargadennec, A., Andary, C., & Rapior, S. (2007). Combined dyeing and antioxidative properties of some plant by-products. Acta Botanica Gallica, 154(1), 43-52.

Hasan, A. & Balos, M. M. (2021). Alkanna Strigosa Boiss. & Hohen. (Boraginaceae) Kökünden Doğal Boya Eldesi. International Journal Of Life Sciences And Biotechnology, 4(2), 206-216.

Hayat, T., Adeel, S., Batool, F., Amin, N., Ahmad, T., & Ozomay, M. (2021). Waste black tea leaves (Camelia sinensis) as a sustainable source of tannin natural colorant for bio-treated silk dyeing. Environmental Science and Pollution Research, 1-14.

Kayabaşı, N., Karakelle, A., & Söylemezoğlu, F. (2016). Tasarımda Süsleme Malzemesi Olarak İpekböceği Kozasının Kullanımı: Hatay Örneği. Art-E Sanat Dergisi, 9(17), 233-245.

Maryam Sundhu, M. Kaleem Khosa, Shahid Adeel, Tanvir Ahmad. 2021. Microwave assisted eco-friendly acidic dyeing of proteinous fabrics using Acid Violet 3B Dye. Journal of Natural Fibers, <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1958436>

Noman Habib, Shahid Adeel, Farhan Ali, Nimra Amin and Shahid Rehman Khan. 2021. Environmental friendly sustainable application of plant-based mordants for cotton dyeing using Arjun bark-based natural colorant. Environmental Science and Pollution research. (<https://doi.org/10.1007/s11356-021-14536-8>)

Özomay, M. (2016). Türkiye'de yöresel dokunan bez örneklerinin doğal boyarmaddeler ile gri ilişkisel analiz yöntemi kullanılarak boyama özelliklerinin belirlenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doctoral dissertation, Doktora Tezi).

Özomay, M., & Özomay, Z. (2021). The Effect of Temperature and Time Variables on Printing Quality in Sublimation Transfer

- Printing on Nylon and Polyester Fabric. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 882-891.
- Özomay, M., Güngör, F., & Özomay, Z. (2021). Determination of optimum dyeing recipe with different amount of mordants in handmade cotton fabrics woven with olive leaves by grey relational analysis method. *The Journal of The Textile Institute*, 1-10.
- Özomay, M., Özomay, Z., Türkmen, F. N., & Özakhun, Ö. (2021). Kültürel Değerlerimiz Tekstil ve Yazma Eserlerde Tahribatsız ve Mikro Analiz Yöntemleri.
- Özomay, Z., Aydemir, C., & Özakhun, Ş. C. (2019). Determination Of The Most Suitable Option For Production With Uncoated Papers In Offset Printing By Multi-Criteria Decision Making Method. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 667-672.
- Saçlı, Ç., & Öztürk, F. B. (2020). İpekçilik Kültürü ve Turizm: Paydaşların Hatay'da İpekçiliğe Yönelik Görüşleri. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(76), 1916-1930.
- Shahid Adeel, Fazal-ur-Rehman, Khalid Mahmood Zia, Muhammad Azeem, Shumaila Kiran, Mohammad Zuber, Muhammad Irfan, Muhammad Abdul Qayyum. 2021. Microwave supported green dyeing of mordanted wool fabric with Arjun bark extracts. *Journal of Natural Fibers*. 18(1): 136-150.
- Sokat, Y. (2021). Kekik Hasadı Sırasında Yabancı Otların Ürüne Karışma Durumu. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 10(1), 102-111.
- Söz, Ç. K., Özomay, Z., Unal, S., Uzun, M., & Sönmez, S. (2021). Development of a nonwetting coating for packaging substrate surfaces using a novel and easy to implement method. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*.
- Surdu, L., Radulescu, I. R., Vamesu, M., Iordache, O., & Dinca, L. (2014). Improvement of the anti-microbial character of woven fabrics through plasma treatment. *Journal of Chemical Engineering and Chemistry Research*, 1(2), 114-121.
- Taheri, M., Maleknia, L., Ghamsari, N. A., Almasian, A., & Fard, G. C. (2015). Effect of zirconium dioxide nanoparticles as a mordant on properties of wool with thyme: dyeing, flammability and antibacterial. *Oriental Journal of Chemistry*, 31(1), 85.
- Tutak, M., Gülcan, A. C. A. R., & Akman, O. (2014). Nane (*Mentha Spicata L.*) Ve Kekik (*Thymus Vulgaris L.*) Bitkileri Kullanarak Yün Lifinin Doğal Boyanması. *Tekstil Ve Mühendis*, 21(93).
- Ural, E., Özomay, Z., & Özdemir, L. (2018). Determination of the effect of palm oil ink on print quality. *Mus Alparslan University Journal of Science*, 6(1), 533-537.
- Vasconcelos, L., Sampaio, F. C., Albuquerque, A. & Vasconcelos, L. (2014). Cell viability of *Candida albicans* against the antifungal activity of thymol. *Brazilian Dental Journal*, 25, 277-281.
- Wojdyło, A., Oszmiański, J., & Czemerys, R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. *Food chemistry*, 105(3), 940-949.
- Yanar, A., & Erdoğan, Z. (2019). Denizli Dokumalarının Kültürel Miras ve Coğrafi İşaretleme Bakımından Önemi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (37), 43-51.
- Yılmaz, F. (2020). Ebegümece Bitkisinin Doğal Boyarmadde Olarak Kullanılması. *Tekstil ve Mühendis*, 27(118), 84-90.
- Yurtoğlu, N. (2017). Cumhuriyet Döneminde Türkiye'de İpek Böcekçiliği (1923-1950). *Çağdaş Türkiye Tarihi Araştırmaları Dergisi*, 17(34), 159-189.
- Yüksek, V., Dede, S., Çetin, S., Akan, Z., Özdemir, H., Dikilidal, M., & Oto, G. (2021). Deneysel Diyabet Oluşturulmuş Ratlarda Kekik (*Thymus vulgaris L.*) ve Karabaş Kekiki (*Thymbra spicata L.*) Uygulamasının Serum Protein Fraksiyonlarına Etkisi. *Van Tıp Dergisi*, 28(2), 193-198.





# Determination of Chlorsulfuron and Pendimethalin Residues in Soil Using Modified QuEChERS Method by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry

Tarık Balkan<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Tokat Gaziosmanpaşa University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Tokat, Turkey  
(ORCID: 0000-0003-4756-4842), [tarik.balkan@gop.edu.tr](mailto:tarik.balkan@gop.edu.tr)

(First received 16 October 2021 and in final form 15 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010792)

**ATIF/REFERENCE:** Balkan, T. (2021). Determination of Chlorsulfuron and Pendimethalin Residues in Soil Using Modified QuEChERS Method by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *European Journal of Science and Technology*, (31), 539-544.

## Abstract

Pesticides, which accumulate in the ecosystem at high concentrations, interfere with the food chain of life forms and cause significant damage to them. The continuous increase in weather, soil and water pollution due to the extensive use of pesticides has made it necessary to develop effective analytical methods to detect pesticides and to monitor continuously the level of residues with these methods.

In this study, an analytical method for the detection of chlorsulfuron and pendimethalin in soil matrix was developed and validated. The soil sample was fortified with a known quantity of pesticides at three different concentration levels (0.01, 0.05 and 0.1 mg kg<sup>-1</sup>) and the analytes were extracted via a modified QuEChERS method.

Recovery studies were performed with 5 different modified QuEChERS methods. Better recoveries were obtained in T4 method (extraction with 266.6 mg MgSO<sub>4</sub>, 66.6 mg NaCl, 66.6 mg Trisodium citrate dehydrate (TSCD) and 33.3 mg Disodium hydrogen citrate sesquihydrate (DHS), dispersive -solid phase extraction technique (d-SPE) cleanup with 300 mg magnesium sulphate (MgSO<sub>4</sub>) and 100 mg prime sekonder amine (PSA)). The recoveries were in the range 70–120%, with relative standard deviation (RSD) values lower than 15%. Chlorsulfuron and pendimethalin of limits of detection (LODs) were 0.96 and 1.30 µg kg<sup>-1</sup> and limits of quantification (LOQs) were 3.19 and 4.34 µg kg<sup>-1</sup>, respectively.

**Keywords:** dSPE, LC-MS/MS, Method validation, Pesticide residue, Soil

## Sıvı Kromatografi-Tandem Kütle Spektrometrisi ile Modifiye QuEChERS Yöntemi Kullanılarak Chlorsulfuron ve Pendimethalin Kalıntılarının Toprakta Belirlenmesi

### Öz

Ekosistemde yüksek konsantrasyonlarda biriken pestisitler, canlıların besin zincirine karışarak onlara önemli zararlar vermektedir. Pestisitlerin yaygın kullanımı nedeniyle hava, toprak ve su kirliliğinin sürekli artması, pestisitlerin tespiti için etkin analitik yöntemlerin geliştirilmesini ve bu yöntemlerle kalıntı düzeylerinin sürekli izlenmesini gerekli kılmaktadır.

Bu çalışmada, toprak matrisinde chlorsulfuron ve pendimethalin tespiti için analitik bir yöntem geliştirilmiş ve valide edilmiştir. Toprak numunesi bilinen miktarda pestisit ile üç farklı konsantrasyonda (0.01, 0.05 ve 0.1 µg kg<sup>-1</sup>) fortifike edilmiş ve analitler modifiye QuEChERS yöntemi ile ekstrakte edilmiştir.

Geri kazanım çalışmaları 5 farklı modifiye QuEChERS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. T4 yönteminde (266.6 mg MgSO<sub>4</sub>, 66.6 mg NaCl, 66.6 mg TSCD ve 33.3 mg DHS ile ekstraksiyon, 300 mg MgSO<sub>4</sub> ve 100 mg PSA ile d-SPE cleanup) daha iyi geri kazanımlar elde edilmiştir. Geri kazanımlar %70-120 aralığında olup, bağıl standart sapma (RSD) değerleri %15'ten düşük bulunmuştur. Chlorsulfuron ve pendimethalin'in sırasıyla LOD değerleri 0,96 ve 1,30 µg kg<sup>-1</sup> ve LOQ değerleri 3,19 ve 4,34 µg kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** dSPE, LC-MS/MS, Metod validasyonu, Pestisit kalıntısı, Toprak

\* Corresponding Author: [tarik.balkan@gop.edu.tr](mailto:tarik.balkan@gop.edu.tr)

## 1. Introduction

Pesticides are extensively used around the world, and pesticide demand is continues to increase for high agricultural yields and quality production (Sarkar et al., 2021). The most important advantages of pesticides are their ease of use, wide variety and faster results compared to other pest control methods. However, the negative effects of pesticides on ecology should also be taken into account. Pesticides have various effects on the beneficial microflora in the soil, such as inhibiting nitrification and reducing soil fertility (Diğrak et al. 1996; Sato 1987). In addition, pesticides that seep into rivers from cropland soils and reach lakes or the sea via surface and groundwater affect a variety of life forms. Pesticides are applied directly to the soil surface and into the soil, on the plant or on the seed in the form of seed spraying. A significant part of the pesticides thrown onto the plant surface falls into the soil and the pesticides falling on the soil can move in the soil over time depending on the soil type, solubility, permanence and climate factors (Kurutaş and Kılınç, 2013).

Pendimethalin is widely applied to soil as a selective preplant, preemergence and sometimes postemergence herbicide in variety of crop plants including cotton, sunflower, tobacco, maize, wheat, rice and vegetable crops to control annual grasses, certain broad leaf weeds of dryland crops and non-crop areas and also for plant growth promotion under tropical, subtropical, as well as temperate conditions (Jape et al. 2019).

Chlorsulfuron mainly utilize to control a large variety of grass and broad-leaved weeds as pre-emergence application on wheat or as a post-emergence application on wheat, barley, rye and oat crops (Alesso et al. 2016).

Pesticides, which accumulate in the ecosystem at high concentrations, interfere with the food chain of life forms and cause significant damage to them. The continuous increase in soil and water pollution due to the extensive use of pesticides has made it necessary to develop effective analytical methods to detect pesticides and to continuously monitor the level of residues with these methods (Taylor et al., 2002; Pinheiro and de Andrade, 2009; Park et al., 2010; Sharma et al., 2017).

A wide variety of chromatographic methods e.g., liquid chromatography (LC) (Navneet and Makhan, 2015), gas chromatography (GC) (Chopra et al., 2015), capillary electrophoresis (Han et al. 2008), electroanalytical (Andressa et al., 2011), colorimetric methods (Jigneshkumar and Suresh, 2017) and enzyme-linked immunoassay (Zeng et al. 2006) have been used till date for the determination of pesticide residues in many matrices. Today, Gas Chromatography/ Tandem Mass Spectrometry (GC-MS-MS) and Liquid Chromatography/ Tandem Mass Spectrometry (LC/MS-MS) are more preferred for pesticide analysis. Equipped with ionization technique such as electrospray ionization (ESI) (Hernandez et al. 2006; Dolores et al. 2007; Wong et al. 2010; Bletsou et al. 2013; Islam et al. 2018) and atmospheric pressure chemical ionization (APCI) (Bonmatin et al. 2003; Xu et al. 2009; Botitsi et al. 2011), LC-MS/MS provides advanced sensitivity and selectivity compared to classic detectors (Saha et al., 2015).

Sample preparation step before chromatographic analysis is very important to detect pesticide residues. For pesticide residue analysis in many matrices, liquid-liquid extraction (LLE), solid phase extraction (SPE) and combinations of both are the most commonly used sample preparation methods (Mohammad et al. 2018; Yang et al., 2019; Zhang et al. 2019). The QuEChERS

(quick, easy, cheap, rugged, effective and safe) method developed by Anastassiades et al. (2003) is the most widely used sample preparation approach in the World. This method is simple and enables various modifications to be made at almost every process of the analysis (Rejczak and Tuzimski, 2015).

In this study, we aimed to develop methods with high sensitivity, accuracy, and precision to meet the SANTE/12682/2019 standard for determination of chlorsulfuron and pendimethalin pesticide residues in soil by modifying QuEChERS extraction and SPE clean-up using liquid chromatography- tandem mass spectroscopy (LC-MS/MS).

## 2. Material and Method

### 2.1. Standarts, reagents and sorbents

Chlorsulfuron (99.60% purity) and Pendimethalin (97.34% purity) reference standards were taken from Dr. Ehrenstorfer GmbH (Augsburg, Germany). Acetonitrile (MeCN), methanol (MeOH), magnesium sulfate anhydrous (MgSO<sub>4</sub>), sodium acetate (NaOAc) and acetic acid (AcOH) were taken from Merck (Darmstadt, Germany). Primary secondary amine (PSA), graphitized carbon black (GCB) were taken from Supelco Analytical (Bellefonte, PA, USA). C18 was obtained from Agilent Technologies (Santa Clara, CA, USA).

### 2.2. Device and Tools

In the study, LC-MS/MS (Shimadzu LC-MS/ MS-8050), centrifuge (Hettich Rotina 380, 50 mL and Hettich Universal 320R, suitable for 15 mL centrifuge tube), analytical balance (Shimadzu AUW220D, ±0.0001 g), industrial cutter (Empero), Vortex (Ika) were used. Also, micropipette, 15 and 50 mL centrifuge tubes, washing bottle, ultrasonic bath, 2 and 12 mL glass vials with screw cap, 5 mL syringes, 45/25 mm syringe filters, balloon joje, disposable pipette and various materials such as weighing container were used in the analysis. Data was obtained and processed through LabSolution software provided with the instrument.

### 2.3. Extraction of samples, clean up

Extraction and clean up in residue analysis was performed with 5 different modified QUECHERS. Detailed information of the method is given in schematic diagram (Figure 1).

### 2.4. Chromatographic conditions

Chromatographic analysis were performed using LC-MS/MS (Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometer). Chromatographic separation were performed using a gradient elution program with eluent A consisting dH<sub>2</sub>O + 5 mM ammonium formate and eluent B consisting of MeOH + 5 mM ammonium formate. Analysis started with 5% eluent B, which was increased linearly to 60% in 3 min, 70% in 4 min, 80% in 6 min, 95% in 7 min. This gradient was held for further 1.5 min before being returned to 5% eluent B in 8.51 min, followed by re-equilibration time for 6.49 min, to give a total run time of 15 min. The flow rate was 0.40 mL min<sup>-1</sup>. The injection volume was set to 10 µL. The column temperature was maintained at 40 °C. For MS/MS detection, the electro spray ionization (ESI) interface was used positive polarity with the following; 400 °C of heat block temperature, 250 °C of desolvation line (DL) temperature, Nitrogen (N<sub>2</sub>) as nebulizer gas of 2.9 L min<sup>-1</sup> and drying gas of 10 L min<sup>-1</sup>.



Figure 1. Analytical steps of modified QuEChERS for the analysis of chlorsulfuron and pendimethalin in soil samples

### 3. Results and Discussion

Sample preparation methods are important in the analysis of samples with complex matrices, especially in the simultaneous analysis of many pesticides. QuEChERS is the most widely used sample preparation method in pesticide residue analysis today (Gavel et al., 2019). This method enables various modifications to be made at every step of the analysis (Rejczak and Tuzimski, 2015).

Both the extraction and cleaning steps were modified to improve the efficiency of QuEChERS sample preparation in soil. Each extraction–clean-up combination has been tested by analyzing five soil samples spiked with all target pesticides at the level of 100 µg kg<sup>-1</sup>. Among the modified methods recovery values were found at an acceptable level (70 to 120%) in the T4 method (Table 1). In summary of method optimization, extraction with 266.6 mg MgSO<sub>4</sub>, 66.6 mg NaCl, 66.6 mg TSCD and 33.3 mg DHS, d-SPE cleanup with 300 mg MgSO<sub>4</sub> and 100 mg PSA were selected for validation study.

Table 1. Mean recovery of chlorsulfuron and pendimethalin (100 µg kg<sup>-1</sup>) spiked in soil using the modified methods

Pesticide	Spiking level (µg kg <sup>-1</sup> )	Test Method (% Mean recovery <sup>a</sup> )				
		T0	T1	T2	T3	T4
Chlorsulfuron	100	140.1	155.9	243.5	232.5	71.7
Pendimethalin	100	65.3	57.9	121.7	62.6	96.1

<sup>a</sup> n=5.

#### 3.1. Mass spectrometry

The optimization of mass spectrometric (MS) parameters were initially performed in precursor scan and product scan using direct flow injection. Multiple reaction monitoring (MRM) was performed in positive ion mode. MS/MS parameters for the two herbicides analyzed are given in Table 2. Chromatogram of Chlorsulfuron and Pendimethalin spiked (100 µg kg<sup>-1</sup>) soil sample are given in Figure 2. Method validation parameters were evaluated including specificity, linearity, accuracy and method limits of detection (LOD) and quantification (LOQ).

**Table 2.** Precursor ion, product ion, Q1/Q3 Pre Bias and collision energies of Chlorsulfuron and Pendimethalin (Multiple Reaction Monitoring (MRM) parameters)

Pesticide	Precursor ion (g mol <sup>-1</sup> )	Product ion (g mol <sup>-1</sup> )	Q1 Pre Bias (V)	Collision energies (eV)	Q3 Pre Bias (V)
Chlorsulfuron	357.80	141.10/ 167.10	-17.0/ - 17.0	-19.0/ -19.0	-26.0/ 17.0
Pendimethalin	282.00	212.05/ 194.00	-11.0/ - 19.0	-10.0/ -18.0	-22.0/ 22.0

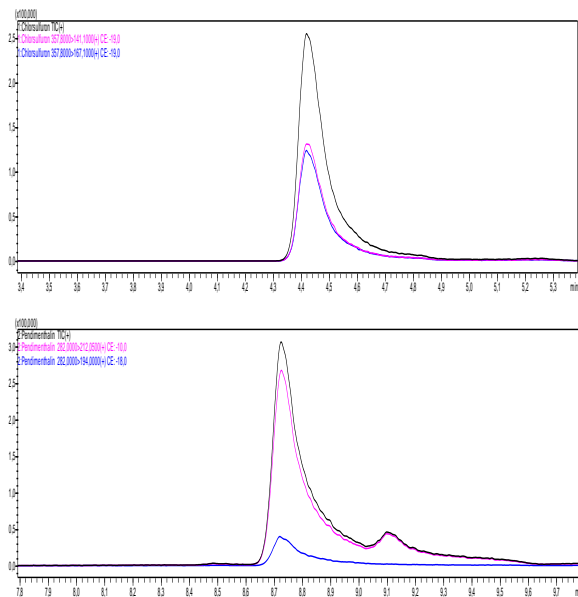


Figure 2. Chromatograms obtained from soil samples spiked with standard solutions

### 3.2. Linearity and calibration curve

The linearity was evaluated using calibration curves at 5, 10, 25, 50 and 100 µg L<sup>-1</sup> prepared in matrix blank extract (soil). Each calibration point was obtained by 3 repeated injections. Linear ranges and correlation coefficients are summarized in Table 3. It can be seen that correlation coefficient were all greater than 0.99. This result shows that the method was linear with a specified concentration ranges.

**Table 3.** Calibration data

Pesticide	Calibration matrix	Calibration range (µg mL <sup>-1</sup> )	Regression equation	Correlation coefficient (r <sup>2</sup> )
Chlorsulfuron	soil	5-100	Y=(13490,1)X + (53892,8)	0.9907542
Pendimethalin	soil	5-100	Y=(31561,0)X + (-35780,7)	0.9981621

### 3.3. Accuracy

Accuracy is a parameter that covers the parameters of recovery and precision (repeatability and within-laboratory reproducibility). The repeatability studies were performed with 3 injections at 3 different concentrations (10, 50 and 100 µg kg<sup>-1</sup>) on the same day. The within-laboratory reproducibility studies were performed with 3 injections at 3 different (10, 50 and 100 µg kg<sup>-1</sup>) concentrations at five different times (Table 4). Data obtained during the validation process meet the criteria (Mean recovery; 70-120%, RSD% ≤ 20%) of the SANTE/12682/2019 guidance document (SANTE, 2019).

**Table 4.** Mean recovery, repeatability (RSD<sub>r</sub>) and within-laboratory precision (RSD<sub>wr</sub>) of the method for the mixture of the compounds in soil spiked at different levels

Pesticide	Spiking level (µg kg <sup>-1</sup> )	% Mean recovery	SD	RSD <sub>r</sub> %	% Mean recovery	SD	RSD <sub>wr</sub> %
Chlorsulfuron	10	96.5	0.35	3.66	104.6	1.32	12.6
	50	104.4	3.46	6.75	98.4	2.47	5.02
	100	94.5	3.24	3.43	91.0	9.69	10.1
Pendimethalin	10	100.2	0.31	3.05	87.4	1.02	11.7
	50	91.5	6.19	13.5	78.3	3.65	9.32
	100	91.7	2.45	2.67	94.9	3.53	3.72

### 3.3. LOD and LOQ values

The studies were performed in 10 replicates at a single concentration (10 µg L<sup>-1</sup>) and the standard deviation (SD) and relative standard deviation (RSD%) values of chlorsulfuron and pendimethalin were calculated. The LOD value is determined as 3 times the calculated standard deviation values for chlorsulfuron and pendimethalin. LOQ value was calculated as 10 times the standard deviation values for chlorsulfuron and pendimethalin (Table 5). The LOQ was obtained lower than EU-MRL values (EC, 2008; EC, 2019).

**Table 5.** Mean, SD, RSD%, LOD, LOQ and MRL values (µg kg<sup>-1</sup>)

	Mean	SD	RSD %	LOD	LOQ	MRL
Chlorsulfuron	9.69	0.32	0.03	0.96	3.19	50*
Pendimethalin	10.1	0.43	0.04	1.30	4.34	50*

\* EU-MRL lowest residual value for plant products (EU, 2008; EU, 2019)



## 4. Conclusions and Recommendations

In this study an analytical method based on modified QuEChERS extraction combined with LC-MS/MS analysis was developed for determination of residues of chlorsulfuron and pendimethalin in soil. The developed method demonstrated appropriate validation parameters in terms of linearity, limit of detection and quantification, high accuracy and precision. Owing to the MS/MS detection, the method gave a good sensitivity and selectivity for chlorsulfuron and pendimethalin. The LOQs assessed by the method were below than the MRL values prescribed by European Union (EU). Interfering peaks were not observed in the chromatograms of the analyzed soil samples. This method is suitable for chlorsulfuron and pendimethalin analysis in soil.

## References

- Anastassiades, M., Lehotay, S. J., Stajnbaher, D., & Schenck, F. (2003) Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and “dispersive solid-phase extraction” for the determination of pesticide residues in produce. *JAOAC Int* 86:412–431.
- Alesso, M., Escudero, L.A., Talio, M.C., & Fernández, L.P. (2016). Monitoring of chlorsulfuron in biological fluids and water samples by molecular fluorescence using rhodamine B as fluorophore, *Talanta*, Volume 160, Pages 431-436. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.07.053>.
- Andressa, G., Djenaine, D. S., & Sergio A. S., M., (2011). Pendimethalin determination in natural water, baby food and river sediment samples using electroanalytical methods. *Microchemical Journal*, 98(1), 9–143.
- Bletsou, A. A., Hanafi, A. H., Dasenaki, M.E., & Thomaidis N.S. (2013). Development of specific LC-ESI-MS/MS methods to determine bifenthrin, lufenuron and iprodione residue levels in green beans, peas and chili peppers under Egyptian field condition. *Food Anal Methods* 6:1099–112.
- Bonmatin, J. M., Moineau, I., Charvet, R., Fleche, C., Colin, M. E., & Bengsch, E. R. (2003). A LC/APCI-MS/MS method for analysis of imidacloprid in soils, in plants, and in pollens. *Anal Chem* 75:2027–2033.
- Botitsi, H. V., Garbis, S. D., Economou, A., & Tsiipi D. F. (2011). Current mass spectrometry strategies for the analysis of pesticides and their metabolites in food and water matrices. *Mass Spectrom Rev* 30:907–939.
- Chopra, I., Chauhan, R., & Kumari, B. (2015). Persistence of pendimethalin in/on wheat, straw, soil and water. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 95(5), 694–699.
- Diğrak, M., Kirbağ, S. & Özçelik, S. (1996). Bazı Pestisitlerin Toprak Mikroorganizmaları Üzerine Etkisi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry, TÜBİTAK*, 20, 165-173.
- Dolores, B. M., María, M. G., Piedad, P. V., & Dolores, M., G. G. (2007). Simple and rapid determination of benzoylphenylurea pesticides in river water and vegetables by LC-ESI-MS. *Chromatographia*, 66(7-8), 533–538.
- EU (European Union). (2008). Commission Regulation (EC) No 149/2008 of 29 January 2008 amending Regulation (EC) No 396/2005 of the European Parliament and of the Council by establishing Annexes II, III and IV setting maximum residue levels for products covered by Annex I thereto. *Official Journal of the European Union L*, 51, 1-398.
- EU (European Union). (2019). Commission Regulation (EU) 2019/1791 of 17 October 2019 amending Annexes II, III and IV to Regulation (EC) No 396/2005 of the European Parliament and of the Council as regards maximum residue levels for 1-decanol, 2,4-D, ABE-IT 56, cyprodinil, dimethenamid, fatty alcohols, floryprauxifen-benzyl, fludioxonil, fluopyram, mepiquat, pendimethalin, picolinafen, pyraflufen-ethyl, pyridaben, S-abscisic acid and trifloxystrobin in or on certain products. *Official Journal of the European Union L*, 62, 1-66.
- Han, L., Guo, B. Y., Feng, J. H., Lu, X. M., & Lin J.M. (2008). Study on the enantioselective degradation of imazethapyr in soil by CE. *Chromatographia* 68:1071–1073.
- Hernandez, F., Pozo, O. J., Sancho, J. V., Bijlsma, L., Barreda, M., & Pitarch, E. (2006) Multiresidue liquid chromatography tandem mass spectrometry determination of 52 non gas chromatography-amenable pesticides and metabolites in different food commodities. *J Chromatogr A* 1109:242–252.
- Islam, A. K. M. M., Hong, S. M., Lee, H. S., Moon, B. C., Kim, D., & Kwon, H., (2018). Identification and characterization of matrix components in spinach during QuEChERS sample preparation for pesticide residue analysis by LC-ESI-MS/MS, GC-MS and UPLC-DAD. *Journal of Food Science and Technology*, 55(10), 3930–3938.
- Jape P., Maheshwari V., & Chaudhari A. (2019) Microbial Degradation of Nitroaromatic Pesticide: Pendimethalin. In: Singh D., Gupta V., Prabha R. (eds) *Microbial Interventions in Agriculture and Environment*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8391-5\\_20](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8391-5_20)
- Jigneshkumar, V. R., & Suresh, K. K. (2017). Simple and selective detection of pendimethalin herbicide in water and food samples based on the aggregation of ractopamine dithiocarbamate functionalized gold nanoparticles. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 245, 541–550.
- Kurutaş, E. B., & Kılınç, M. (2003). Pestisitlerin Biyolojik Sistemler Üzerine Etkisi. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 12 (3).
- Mohammad, F., Roya, N., Hooshang, S., & Mohammadkazem, R. (2018). Determination of acetamiprid, imidacloprid, and spirotetramat and their relevant metabolites in pistachio using modified QuEChERS with liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Food Chemistry*, 240, 634–641.
- Navneet, K., & Makhan, S. B. (2015). Harvest time residues of pendimethalin and oxyfluorfen in vegetables and soil in sugarcane-based intercropping systems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(5), 221–230.
- Park, J. H., Mamun, M. I., Choi, J. H., Abd El-Aty, A. M., Assayed, M. E., Choi, W. J., Yoon, K. S., Han, S. S., Kim, H. K., Park, B. J., Kim, K. S., Kim, S. D., Choi, H. G., & Shim, J. H., (2010). Development of a multiresidue method for the determination of multiclass pesticides in soil using GC. *Biomedical chromatography: BMC*, 24(8), 893–901. <https://doi.org/10.1002/bmc.1383>
- Pinheiro, A., & de Andrade, J. B., (2009). Development, validation and application of a SDME/GC-FID methodology for the multiresidue determination of organophosphate and pyrethroid pesticides in water. *Talanta*, 79(5), 1354–1359. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.06.002>
- Rejczak, T., & Tuzimski, T. (2015). A review of recent developments and trends in the QuEChERS sample preparation approach. *Open Chemistry*, 19, 980–1010. <https://doi.org/10.1515/chem-2015-0109>

- Saha, A., Shabeer T P, A., Banerjee, K., Hingmire, S., Bhaduri, D., Jain, N. K., & Utture, S. (2015). Simultaneous analysis of herbicides pendimethalin, oxyfluorfen, imazethapyr and quizalofop-p-ethyl by LC-MS/MS and safety evaluation of their harvest time residues in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of food science and technology*, 52(7), 4001–4014. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1473-9>
- SANTE. (2019). Document No Sante/12682/2019 Method validation & quality control procedures for pesticide residues analysis in food & feed. European Commission: Brussels, Belgium
- Sarkar, S., Berbarides, D.J., Keely, J., Möhring, N. & Jansen, K. (2021). The use of pesticides in developing countries and their impact on health and the right to food. EU publications. <https://doi.org/10.2861/28995>
- Sato, K. (1987). Pentaclorophenol (PCP) Tolerance of Bacteria Isolated from Soil Percolated with PCP. *Journal of Pesticide Science*, 12, 582-589.
- Taylor, M. D., Klaine, S. J., Carvalho, F. P., & Barcelo, D. (2002). Pesticide residues in coastal tropical ecosystems: distribution, fate and effects. CRC Press, Boca Raton.
- Sharma, A., Kumar, V., Bhardwaj, R., & Thukral, A.K. (2017). Seed presoaking with 24-epibrassinolide reduces the imidacloprid pesticide residues in green pods of *Brassica juncea* L. *Toxicol Environ Chem* 99(1):95–103.
- Wong, J., Hao, C., Zhang, K., Yang, P., Banerjee, K., Hayward, D., Iftakhar, I., Schreiber, A., Tech, K., Sack, C., Smoker, M., Chen, X., Utture, S. C. & Oulkar D.P., (2010). Development and interlaboratory validation of a QuEChERS-Based liquid chromatography-tandem mass spectrometry method for multiresidue pesticide analysis. *J Agric Food Chem* 58: 5897–5903.
- Yang, Q., Ai, X., Li, S., Liu, H., & Liu, Y. (2019). Determination of pendimethalin in water, sediment, and *Procambarus clarkii* by high performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometry. *Environ Monit Assess* 191, 621. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7794-4>
- Zhang, Z. H., Dong, M. F., Hao, X. H., Han, L. J., Song, S. Y., & Yao, W., (2019). Evaluation of cleanup procedures in pesticide multi-residue analysis with QuEChERS in cinnamon bark. *Food Chemistry*, 276, 140–146.
- Zeng, D. Y., Shi H. Y., Li, B., Wang, M., & Song, B. A. (2006). Development of an enzyme-linked immunosorbent assay for quantitative determination of quizalofop-p-ethyl. *J Agric Food Chem* 54: 8682–86



# İnşaat Mühendisliği Öğrencilerinin Ana Bilim Dallarındaki Yeterlilikleri Üzerine Bir Araştırma: Mevcut Durum, Sorunlar ve Çözüm Önerileri

Fatih Karaçor<sup>1\*</sup>, Kaan Yünkül<sup>2</sup>, Ahmet Erdağ<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID:0000-0003-1201-7857), [fatihkacaror@gmail.com](mailto:fatihkacaror@gmail.com)

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID:0000-0003-1264-237X), [kaanyunkul@gazi.edu.tr](mailto:kaanyunkul@gazi.edu.tr)

<sup>3</sup> Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9380-9439), [ahmeterdag@gazi.edu.tr](mailto:ahmeterdag@gazi.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 20 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 21 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012610)

**ATIF/REFERENCE:** Karaçor, F., Yünkül, K. & Erdağ, A. (2021). İnşaat Mühendisliği Öğrencilerinin Ana Bilim Dallarındaki Yeterlilikleri Üzerine Bir Araştırma: Mevcut Durum, Sorunlar ve Çözüm Önerileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 545-552.

## Öz

İnşaat mühendisliği öğrencilerinin lisans eğitimlerinde almış oldukları bitirme projesi ve yaz stajı dersi, gelecekteki çalışma hayatları hakkında ön fikir oluşturmaktadır. Geleneksel olarak lisans eğitimlerinde dinleyici konumunda bulunan öğrenciler yaz stajı ve bitirme projesi dersi sayesinde mesleki çalışma koşullarını deneyimlemekte, ayrıca mesleki anlamda eksiklerini tamamlamakta ve inşaat mühendisliği problemlerini araştırarak çözüm yolları bulmayı aktif olarak öğrenmektedirler. Bu çalışma ile yaz stajı ve bitirme projesi dersleri almış olan inşaat mühendisliği öğrencilerinin, pasif öğrenme yolu ile teorik olarak aldıkları derslerin yaz stajı ve bitirme projesine etkisi, mesleki eksiklerinde farkındalıklar, yaz stajı ve/veya bitirme projesi derslerinin gelecekteki kariyer ve akademik tercihlere etkisi incelenmiştir. Bu amaçla Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümlerinde 2018-2020 yılları arasında bitirme projesi dersini alan 340 öğrenciye anket çalışması yapılmıştır. Anketlerin değerlendirilmesi sonucunda öğrencilerin zorunlu olan staj sayılarının artırılarak daha fazla alan ve tecrübe kazanmaları amacıyla çalışma tecrübesi olan insanlar tarafından düzenlenecek sempozyumlara daha fazla ihtiyaç duyulduğu sonucu elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İnşaat mühendisliği, Eğitim, Bitirme projesi, Yaz stajı

## A Research on the Competences of Civil Engineering Students in Departments: Current Situation, Problems and Solution

### Abstract

An initial comprehension of professional civil engineering is generated in the minds of civil engineering students via the graduation project and the summer internship course. In the conventional undergraduate education, students have a passive role as listeners; however, thanks to the summer internship and the graduation project, they are provided the opportunity to actively search for solutions by investigating the conditions in their work environment, the engineering problems, and their professional deficiencies. In this study, the contributions of theoretical courses, which were based on passive learning, to the performances of the students during their summer internship and graduation project were investigated. Moreover, the effect of the summer internship and/or graduation project courses on the awareness of their professional deficiencies, future careers, and academic preferences were also examined. For this purpose, a questionnaire was designed for 340 students who completed the graduation project course between 2018-2020 at Gazi University Engineering Faculty and Technology Faculty Civil Engineering Departments. The findings of the questionnaire showed that the number of compulsory internships should be increased for students and there is a need for seminars organized by highly experienced professionals from diverse technical areas, in order to give students more experience on different areas.

**Keywords:** Civil engineering, Education, Graduation project, Summer internship

## 1. Giriş

Tarihi insanlık tarihine dayanan inşaat mühendisliği; binalar, yollar, köprüler, tüneller, barajlar, havaalanları, demiryolları, istinat yapıları, kanalizasyon sistemleri, sulama sistemleri gibi fiziksel veya doğal yapıların tasarımı, inşası, tamiri, bakımı, onarımı ve maliyeti ile ilgilenen bir mühendislik disiplindir. İnşaat mühendisliği eğitiminin en temel hedeflerinden birisi, gelişen ve ilerleyen çağa ayak uyduran ve toplumun ihtiyaçlarını karşılayabilen mühendis adaylarının mesleki yeterliliklerini geliştirmektir (Kaya vd., 2017). Mesleki yeterliliğe sahip inşaat mühendisleri yetiştirilmesi için, inşaat mühendisliği lisans eğitiminin; teorik mühendislik bilgisi ve pratik mühendislik becerileri içermesi gerekmektedir. Teorik olarak inşaat mühendisliği temel bilim dallarından alınan (geoteknik, hidrolik, mekanik, ulaştırma, yapı, yapı malzemesi, yapım yönetimi vs.) eğitimlerinin yanı sıra, mühendis adayları pratik becerilerini geliştirmek için yaz stajı ve bitirme projesi uygulamalarına katılarak mesleklerini tanımaya çalışmaktadırlar.

Çoğu lisans eğitiminde olduğu gibi inşaat mühendisliği bölümünde de öğretim üyesi merkezli anlatım yöntemi kullanılmaktadır. Öğrenciler; dersin dinlenmesi, dersle ilgili not tutulması ve öğretim elemanı tarafından önerilen referans kaynakların incelenmesi gibi aktiviteleri gerçekleştirmek ile sorumludur. Bu yönetime pasif öğrenim adı verilmektedir. Geleneksel öğrenimin bir parçası olan pasif öğrenim, öğrenci merkezli değil öğretim elemanı merkezlidir (Felder ve Brent, 2009; Bayram vd., 2011; Mertol ve Yılmaz, 2011; Kaya vd. 2017). Pasif öğrenim yöntemi ile lisans öğrencileri bazı konuları daha yüzeysel olarak öğrenebilmektedir (Marton vd., 1984; Elshorbagy ve Schonwetter, 2002; Kaya vd. 2017). Bu yüzden bu öğrenim yönteminin tüm dersler ve branşlar için uygun olmayacağı ve sadece öğretim elemanın anlattığı ders dinlenerek öğrenilen bilgilerin kalıcı olmayacağı birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Ersoy, 2009; Soygür, 2009; Kaya vd. 2017). Diğer bir öğrenme yöntemi olan aktif öğrenme ile öğrencilerin konuları araştırılması, öğrenilmesi, yorumlanması doğrudan öğrenci tarafından gerçekleştirilerek, inşaat mühendisliği eğitimi daha etkin ve kalıcı olacaktır (Mertol ve Yılmaz, 2011; Kaya vd. 2017; Uğur, 2017; Demirtürk ve Tunç, 2021). Aktif öğrenme yöntemi ile öğrencilerin bilgiyi araştırarak öğrenmesinin yanı sıra, gerekli bilgisayar programlarını öğrenmekte ve teorik olarak öğrendikleri bilgileri uygulamada kullanabilmektedirler. Bu nedenle, inşaat mühendisliği mesleği ve günümüz teknolojisindeki değişimler göz önüne alındığında, öğrenciler aktif öğrenme yöntemleri ile öğrendikleri bilgileri meslek hayatlarında doğrudan kullanacaklardır. Bu sayede daha donanımlı inşaat mühendislerinin yetiştirilmesi mümkün olacaktır.

İnşaat mühendisliği lisans eğitiminde bitirme projesi ve yaz stajı dersleri aktif öğrenme yöntemleri olarak gösterilmektedir. Bu dersler sayesinde mühendis adayları inşaat mühendisliği mesleğinin çalışma şartlarını (ofis/şantiye) deneyimlemekte, ekip çalışması yapabilmekte, mesleki anlamda eksikliklerini belirleyebilmekte, mesleki ihtiyaçlarını öğrenmekte ve mezuniyet sonrası geleceğe dair çalışma planlarını (akademik ve kariyer uzmanlık alanları) oluşturmaktadırlar. Ayrıca inşaat mühendisliği öğrencileri, çeşitli meslek odaları ve kurumlar tarafından verilen eğitimler ve sempozyumlara katılarak aktif olarak yeni ve güncel mühendislik bilgileri öğrenmektedirler.

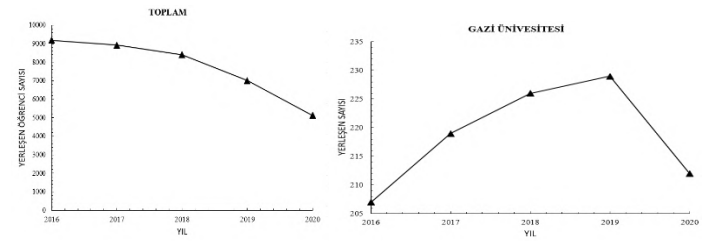
Bu bağlam doğrultusunda, yapılan bu çalışmada öğrencilerin teorik ve pratik bilgilerinin yeterliliklerini etkileyen faktörler e-ISSN: 2148-2683

değerlendirilmiştir. Yaz stajı ve bitirme proje derslerinin öğrencilerin yeterliliklerine katkıları incelenmiştir. Öğrencilerin teorik ve pratik bilgi düzeylerinin yanı sıra; inşaat mühendisliği eğitimi için önerilere yer verilmiştir.

Çalışmada Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümlerinde 2018-2020 öğrenim dönemlerinde bitirme projesi dersi alan 340 öğrenciye bir anket çalışması yapılmış olup elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

## 2. Staj ve Bitirme Projesi Dersinin Amaç ve Önemi

Yaz stajı, inşaat mühendisliği öğrencilerinin teorik olarak öğrendikleri bilgileri, iş hayatında karşılaçacakları problemlerin çözümde kullanarak ve mesleki etik kavramını yerinde gözlemlene şansını buldukları aktif öğrenme yöntemlerinden birisidir (King ve Duan, 2010; Koçyiğit vd., 2011). Yaz stajı sayesinde inşaat mühendisi öğrencileri, mesleki çalışma ortamlarını tanıyarak, çalışma (şantiye, ofis) koşulları ve uzmanlık alanları (geoteknik, hidrolik, mekanik, ulaştırma, yapı, yapı malzemesi, yapım yönetimi) hakkında bir ön fikir veya tecrübe oluşturmaktadırlar. 2020 yılı ÖSYM (Öğrenci Seçme ve Yerleştirme Merkezi) verilerine göre ülkemizde devlet ve vakıf üniversitelerine 7529 aday inşaat mühendisliği bölümüne Temel Yeterlilik Testi (TYT) ile 648 aday Mühendislik Tamamlama Sınavı ile 176 aday Dikey Geçiş Sınavı (DGS) ile üniversitelerin inşaat mühendisliği programlarına yerleşmişlerdir. İnşaat mühendisliği bölümüne yerleşen adayların sayısı 2016 yılına kadar artış gösterirken 2017 ve sonrasında önemli miktarda azalmalar meydana gelmiştir. Şekil 1.'de ülkemizdeki toplamda ve Gazi Üniversitesine son 5 yılda yerleşen inşaat mühendisliği öğrencilerinin sayısı verilmiştir. Bu azalmaların en önemli nedenleri 2016 yılına kadar ülkemizde birçok inşaat mühendisliği programlarının açılması, DGS ve mühendislik tamamlama kontenjanları ile mezun inşaat mühendislerinin sayısının ani artması ve bunun sonucunda teknik anlamda yetkin inşaat mühendislerinin sayısının azalması ve inşaat sektörünün ihtiyaçtan fazla mühendise sahip olması gösterilebilir. Tüm bu nedenler inşaat mühendisi adaylarının, mesleki anlamda kendilerini yetiştirebilecekleri staj yeri bulma olasılığını azaltmaktadır.



Şekil 1. Son 5 yıl içerisinde inşaat mühendisliği bölümüne yerleşen öğrenci sayıları; (a): toplam yerleşen (b): Gazi üniversitesi'ne yerleşen

Ülkemizde inşaat mühendisliği öğrencilerinin yaz stajı ile karşılaştıkları sorunlar literatürde eksikliğini korumaktadır. Fakat yapılan çalışmalar incelendiğinde; inşaat mühendisliği bölümlerinin öğrencilere yaz stajı yeri bulma konusunda gereken desteği sağlayamadığı, özellikle meslek odaları ile bağlantılarının



yeterli düzeyde olmadığı (Oğuz vd., 2009), mühendislik fakültelerinin ve/veya inşaat mühendisliği bölümlerinin sektördeki firmalar ile olan bağlantı eksiklikleri (Kayıkcı, 2009), öğrencilerin yaz stajı dersi hakkındaki bilgi eksikleri ve yaz stajı yapılan firmanın ve/veya yapılan işin denetiminde olan eksikler (Koçyiğit vd., 2011), başlıca öğrencilerin karşılaştıkları sorunlardır.

İnşaat mühendisliği lisans eğitiminde kullanılan bir diğer aktif öğrenme yöntemi ise bitirme projesi dersidir. Bu ders kapsamında öğrenciler; karşılaşılabilecek inşaat mühendisliği problemlerinin çözümünde; deneysel, nümerik veya analitik yöntemler ile öğrenme becerilerini geliştirmektedirler (Kaya vd., 2017). Öğrenciler verilen ödev konusu hakkında gerekli literatür araştırması yapma, laboratuvar deney sonuçlarını yorumlama, ilgili paket programlar kullanarak problem çözme ve zaman yönetimi becerilerini geliştirmektedirler. Ayrıca öğrenciler, tez

yazım formatını öğrenmekte ve proje sunumu ile sunum becerilerini geliştirmektedirler. Ülkemizde inşaat mühendisliği öğrencilerinin bitirme projesi dersinde karşılaştıkları zorluklar; piyasada kullanılan paket programlar ve programlama dillerinde olan eksiklikleri, literatür tarama becerilerinin gelişmemesi ve tez yazım kurallarına hakim olamamaları şeklinde özetlenmektedir (Kaya vd., 2017).

### 3. Araştırmanın Amacı

Çalışmanın amacı; inşaat mühendisliği bölümü öğrencilerinin öğrenim yeterlilikleri ve bu yeterliliklere yaz stajı ve bitirme projesi dersinin etkisinin belirlenmesidir. Ayrıca öğrencilerin gelecekte çalışma alanı olarak önde gördükleri bilim dallarını incelemektir. Bu amaçla yetkinlik puanlarına etki eden faktörleri belirlemek için kurulan hipotezlerin numaralandırılması Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kurulan hipotezler

Hipotez	Yetkinlik Puanı	Hipotez	Yetkinlik Puanı	Hipotez	Yetkinlik Puanı
H1	Cinsiyet	H6	Şantiye Stajı Bilim Dalı	H11	Üniversitede Sempozyum
H2	Yaş	H7	Ofis Stajı Bilim Dalı	H12	Paket Program Yetkinliği
H3	Şantiye Stajı	H8	Bitirme Ödevi Bilim Dalı	H13	Paket Program Talebi
H4	Ofis Stajı	H9	Lisansüstü Tercih	H14	Kariyer Günleri Talebi
H5	Bitirme Ödevi	H10	Sempozyumlara Katılım	H15	Üniversitenin Staj İmkânı

## 4. Yöntem

### 4.1. Araştırma Modeli

Bu araştırma tarama modelindedir ve inşaat mühendisliği öğrencilerinin inşaat mühendisliği ve ana bilim dallarındaki yetkinlik puanlarının çeşitli değişkenler açısından incelemeyi amaçlamaktadır.

### 4.2. Evren ve Örneklem

Çalışmanın evreni Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği öğrencileridir. Yapılan çalışma kapsamında 2018-2019 ve 2019-2020 Bahar ve Güz Dönemlerinde Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümlerinde bitirme projesi dersini alan ve başarılı şekilde bitiren 340 öğrenciye gönüllülük esasına göre yüz yüze ve pandemi döneminde ise online (Google Formlar) olarak anket çalışması yapılmıştır.

### 4.3. Veri Toplama Araçları

Yapılmış olan anketin ilk bölümünde öğrencilere ait sosyo-demografik sorular sorulmuştur. Anketin ikinci bölümünde her bir katılımcının her bir soruya karşı gösterdiği tutumu belirleyen, Rensis Likert tarafından önerilen Likert ölçeği kullanılmıştır (Likert, 1932). Beşli Likert ölçeği 1-5 aralığında değerler ve bu değerlere karşılık gelen değerlendirme kriterlerinden oluşmaktadır. Katılımcılara yöneltilen sorularda 1-Kesinlikle katılmıyorum, 2-Katılmıyorum, 3-Kararsızım, 4-Katılıyorum ve 5-Kesinlikle Katılıyorum seçenekleri sunulmuştur.

### 4.4. Verilerin Analizi

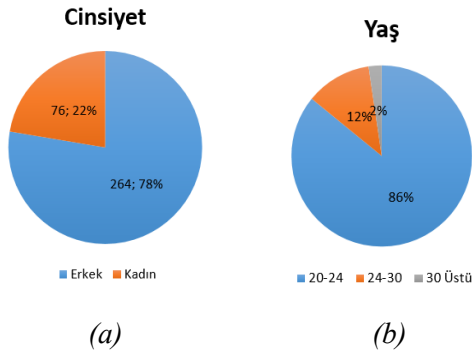
Verilerin analizinde “MS Excel 2018” ve “SPSS v22.0” programları kullanılmıştır. Yetkinlik puanlarının ortalamaları karşılaştırılmıştır. Kategori sayısı iki olan hipotezlerde Bağımsız Örnekler T Testi (Independent Samples T-Test), kategori sayısı ikiden fazla olan hipotezlerde ise Tek Yönlü Anova Testi (One-Way Anova) testleri kullanılmıştır. Yapılan bütün analizlerde anlamlılık düzeyi  $p = 0.05$  olarak alınmıştır.

## 5. Bulgular

Yapılan anket çalışmasında Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğrencilerinin lisans eğitimlerinde aldıkları derslerin bitirme projesi dersi ve yaz stajına etkisi, inşaat mühendisliği mesleki eksikliklerinde farkındalıklar, bitirme projesi ve yaz stajının inşaat mühendisi adayı öğrencilerin gelecek kariyer ve akademik tercihlerine etkisi amaçlandığı çalışmaya 340 öğrenci katılmıştır.

Katılımcıların yaş ve cinsiyet dağılımları Şekil 2.’de verilmiştir. Cinsiyet dağılımı 76 kadın ve 264 erkek olarak görülmüştür. Yaş dağılımı ise 292 kişi 20-24 yaş arası, 40 kişi 24-30 yaş aralığında ve 8 kişide 30 yaş üstü olduğu görülmüştür.

Öğrencilerin yaz stajı (ofis/şantiye), bitirme projesi ve gelecekteki yapmak istedikleri yüksek lisans eğitimleri tercih ettikleri bilim dalları incelenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda ülkemizde günümüzde çalışma alanı ve/veya gelecekte çalışma alanı olabilecek bilim dalları belirlenmiştir (Şekil 3). Bu bölümde elde edilen sonuçlar ile öğrencilerin yaz stajı ve bitirme projesi için tercih ettikleri bilim dalları arasında farklılıklar gözlemlenmiştir.

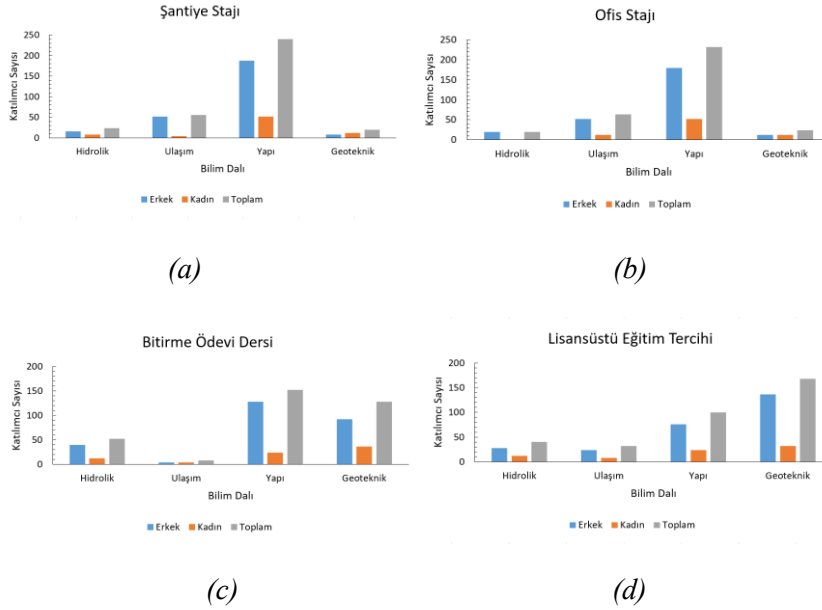


Şekil 2. Katılımcı öğrencilerin dağılımları; (a): yaş, (b): cinsiyet

Ankette bulunan sosyo-demografik sorulara verilen cevapların dağılımı Tablo 2.'de verilmiştir. Katılımcıların 228

(%67,06)'i verilen eğitim ve sempozyumlara katılmaktadır. Öğrencilerin %34,12'si inşaat sektöründe kullanılan paket programlarda yeterli bilgiye sahip olduklarını belirtmişlerdir. %98,82'si ise bu paket programların lisans eğitimi süresince verilmesini istemektedirler.

Yaz stajı ve bitirme projesinin öğrencilerinin eksikliklerinde farkındalıklarını ve gelecekteki çalışmak isteyecekleri bilim dallarına etkisini araştırmak amacıyla; katılımcılara yaz stajı ve bitirme projesi derslerini hangi bilim dallarında yaptıkları, ofis çalışma hayatı için gerekli program bilgileri, yapılan mesleki sempozyum ve kariyer günlerine katılma durumları ve gelecekte çalışmak istedikleri bilim dalı hakkında sorular sorulmuş. Tablo 3'de katılımcıların teorik ve pratik yetkinliklerini ölçmeye yönelik sorulara verilen cevapların dağılımı verilmiştir.



Şekil 3. Öğrencilerin cinsiyetlerine göre bilim dalları tercihleri; (a): şantiye stajı, (b): ofis stajı, (c): bitirme projesi dersi, (d) lisansüstü eğitim tercihleri

Tablo 2. Anketteki sosyo-demografik sorulara verilen cevapların dağılımı

Sorular	Seçenekler	n (%)
Cinsiyet	Erkek	264 (%77,6)
	Kadın	76 (%22,4)
Yaş	20-24	292 (%85,9)
	25-30	40 (%11,8)
	30 Üstü	8 (%2,4)
Şantiye stajını yaptınız mı?	Evet	324 (%95,3)
	Hayır	16 (%4,7)
Ofis stajını yaptınız mı?	Evet	244 (%71,8)
	Hayır	96 (%28,2)
Bitirme ödevi dersini aldınız mı?	Evet	328 (%96,5)
	Hayır	12 (%3,5)
Şantiye stajınızı hangi bilim dalında yaptınız?	Hidrolik	24 (%7,1)
	Ulaşım	56 (%16,5)
	Yapı	240 (%70,6)
	Geoteknik	20 (%5,9)
Ofis stajınızı hangi bilim dalında yaptınız?	Hidrolik	20 (%5,9)
	Ulaşım	64 (%18,8)
	Yapı	232 (%68,2)
	Geoteknik	24 (%7,1)

Tablo 3. Katılımcıların anabilim dalı ve bilim dallarındaki yetkinlikleri

Ana Bilim Dalı/Bilim Dalı	Sorular	Kesinlikle Katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum
Ana Bilim Dalı	Teorik mühendislik eğitiminin yeterli olduğunu düşünüyorum.	40 (%11,8)	68 (%20)	44 (%12,9)	152 (%44,7)	36 (%10,6)
	Uygulamaya (saha koşulları) katkısının yeterli olduğunu düşünüyorum.	60 (%17,7)	36 (%10,6)	68 (%19,9)	104 (%30,6)	72 (%21,2)
	Stajlarınızı belirlemede kendi tercihleriniz etkilidir	28 (%8,2)	32 (%9,4)	60 (%17,7)	76 (%22,4)	144 (%42,3)
	Staj yaparken okulda aldığım uygulama eğitimi (laboratuvar) yeterliydi.	40 (%11,8)	60 (%17,7)	88 (%25,9)	108 (%31,7)	44 (%12,9)
	Staj yaptığım bilim dalında çalışmayı düşünüyorum.	28 (%8,2)	32 (%9,4)	136 (%40)	96 (%28,2)	48 (%14,2)
	Bitirme ödevi yaptığım anabilim dalında çalışmayı düşünüyorum.	12 (%3,5)	44 (%12,9)	120 (%35,3)	76 (%22,4)	88 (%25,9)
	Uygulama derslerinin teorik derslere göre daha fazla katkısı olduğunu düşünüyorum.	16 (%4,7)	20 (%5,9)	36 (%10,6)	140 (%41,2)	128 (%37,6)
Hidrolik	Kendimi teorik olarak yeterli hissediyorum	24 (%7,1)	60 (%17,7)	96 (%28,2)	128 (%37,6)	32 (%9,4)
	Kendimi pratikte yeterli hissediyorum	48 (%14,1)	124 (%36,5)	88 (%25,9)	52 (%15,3)	28 (%8,2)
	Bilim dalını gelecekte çalışma alanını iyi görüyorum.	36 (%10,6)	36 (%10,6)	124 (%36,5)	108 (%31,8)	36 (%10,5)
Ulaştırma	Kendimi teorik olarak yeterli hissediyorum	32 (%9,4)	64 (%18,8)	88 (%25,9)	128 (%37,7)	28 (%8,2)
	Kendimi pratikte yeterli hissediyorum	48 (%14,1)	52 (%15,3)	116 (%34,1)	92 (%27,1)	32 (%9,4)
	Bilim dalını gelecekte çalışma alanını iyi görüyorum.	32 (%9,4)	56 (%16,5)	88 (%25,9)	108 (%31,8)	56 (%16,4)
Geoteknik	Kendimi teorik olarak yeterli hissediyorum	28 (%8,2)	32 (%9,4)	88 (%25,9)	128 (%37,7)	64 (%18,8)
	Kendimi pratikte yeterli hissediyorum	40 (%11,8)	24 (%7,1)	112 (%32,9)	120 (%35,3)	44 (%12,9)
	Bilim dalını gelecekte çalışma alanını iyi görüyorum.	20 (%5,9)	16 (%4,8)	80 (%23,5)	112 (%32,9)	112 (%32,9)
Yapı/Yapı Malzemeleri	Kendinizi teorik olarak yeterli hissediyor musunuz?	12 (%3,5)	28 (%8,2)	96 (%28,2)	140 (%41,2)	64 (%18,9)
	Kendinizi pratikte yeterli hissediyor musunuz?	20 (%5,9)	44 (%12,9)	124 (%36,5)	96 (%28,2)	56 (%16,5)
	Bilim dalını gelecekte çalışma alanını iyi görüyorum.	12 (%3,5)	16 (%4,7)	96 (%28,2)	148 (%43,6)	68 (%20)

Katılımcıların yetkinlik puanlarının sosyo-demografik özelliklerle karşılaştırılması Tablo 4'de gösterilmiştir. Katılımcıların bilim dallarına göre ortalama puanları Tablo 5.'de verilmiştir.

Katılımcıların yetkinlik puanlarının (Y) sosyo-demografik sorulardan;

Yaş grupları ile kıyaslandığında 20-24 yaş (63,66±12,17), 25-30 yaş (65,90±13,03) ve 30 üstü (79,00±12,83) istatistiksel olarak anlamlı şekilde fark çıkmıştır (p=0,002).

Şantiye stajı yapma durumu ile kıyaslandığında yapanların (64,68±12,57) ve yapmayanların (56,25±6,90) puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmiştir (p=0,008).

Ofis stajı yapma durumu ile kıyaslandığında yapanların (65,92±12,8) ve yapmayanların (60,13±10,61) puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmiştir (p<0,001).

Şantiye stajlarını yaptıkları bilim dalı "Hidrolik" (60,17±8,03), "Ulaşım" (64,14±11,45), "Yapı" (63,77±12,41) ve "Geoteknik" (75,80±14,85) olanların puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p<0,001).

Lisansüstü eğitim tercihleri olan bilim dalı "Hidrolik" (52,70±15,6), "Ulaşım" (65,38±15,71), "Yapı" (63,68±11,65) ve "Geoteknik" (67,19±9,6) olanların puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p<0,001).

Bu eğitimler verilmiyorsa üniversitemiz bünyesinde verilmesi ister misiniz sorusuna "Evet" diyenler (64,68±11,73) ve "Hayır" (59,00±19,55) diyenlerin puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p<0,001).

Katılımcıların mezun olduklarında kendilerini inşaat mühendisliği paket programlarında yeterli hissetme durumlarına göre "Evet" diyenler (69,55±14,63) ve "Hayır" (61,55±10,22) diyenlerin puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p<0,001).

Üniversitemiz bünyesinde inşaat mühendisliğinde kullanılan paket programları eğitimi verilmesini ister misiniz sorusuna "Evet" diyenler (64,37±12,53) ve "Hayır" (57,00±0,00) diyenlerin puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p<0,001).

Üniversitemiz bünyesinde inşaat firmalarının katılımı ile gerçekleştirilen kariyer günlerini yeterli buluyor musunuz sorusuna "Evet" diyenler (69,26±14,75) ve "Hayır" (62,85±11,38) diyenlerin puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p<0,001).

Üniversite size staj bulma konusunda fayda sağlanıp sağlanmadığı sorulduğunda "Evet" diyenler (69,92±12,87) ve "Hayır" (61,80±11,48) diyenlerin puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p<0,001).

Anketimizi değerlendirmenin güvenilirliği için Cronbach Alpha testi kullanılmıştır. Bu testte kullanılan (Özdamar, 2002)

tarafından önerilen  $\alpha$  katsayıları için güven aralıkları ve yorumları Tablo 6'da verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda anketimizin  $\alpha$  katsayısı 0,887 olarak bulunmuştur. Ölçeğimiz

yüksek güvenilirlik sınırları içerisindedir. Kurulan hipotezlerin sonuçları Tablo 7.'de verilmiştir.

Tablo 4. Katılımcıların yetkinlik puanlarının sosyo-demografik sorulara göre karşılaştırılması

Sorular	Yetkinlik Puanı (Y)		
	Seçenekler	Ort ± SS	p
Cinsiyet	Erkek	63,88±13,34	0,168
	Kadın	65,68±8,83	
Yaş	20-24	63,66±12,17	0,002*
	25-30	65,90±13,03	
	30 Üstü	79,00±12,83	
Şantiye stajını yaptınız mı?	Evet	64,68±12,57	0,008*
	Hayır	56,25±6,90	
Ofis stajını yaptınız mı?	Evet	65,92±12,8	<0,001*
	Hayır	60,13±10,61	
Bitirme ödevi dersini aldınız mı?	Evet	64,50±12,54	0,093
	Hayır	58,33±9,43	
Şantiye stajınızı hangi bilim dalında yaptınız?	Hidrolik	60,17±8,03	<0,001*
	Ulaşım	64,14±11,45	
	Yapı	63,77±12,41	
	Geoteknik	75,80±14,85	
Ofis stajınızı hangi bilim dalında yaptınız?	Hidrolik	70,20±11,74	0,114
	Ulaşım	64,31±9,44	
	Yapı	63,55±13,14	
	Geoteknik	66,33±12,79	
Bitirme ödevini hangi bilim dalında yaptınız/yapıyorsunuz?	Hidrolik	62,46±11,24	0,322
	Ulaşım	61,00±4,28	
	Yapı	65,55±15,41	
	Geoteknik	63,72±8,81	
Lisansüstü eğitim yaparsanız hangi bilim dalını tercih edersiniz?	Hidrolik	52,70±15,6	<0,001*
	Ulaşım	65,38±15,71	
	Yapı	63,68±11,65	
	Geoteknik	67,19±9,6	
Çeşitli kurumlar tarafından verilen eğitimler veya sempozyumlara katılıyor musunuz?	Evet	65,63±14,11	0,001*
	Hayır	61,54±7,57	
Eğer bu eğitimler verilmiyorsa üniversitemiz bünyesinde verilmesi ister misiniz?	Evet	64,68±11,73	<0,001*
	Hayır	59,00±19,55	
Mezun olduğunuzda kendinizi inşaat mühendisliği paket programlarında yeterli hissediyor musunuz?	Evet	69,55±14,63	<0,001*
	Hayır	61,55±10,22	
Üniversitemiz bünyesinde inşaat mühendisliğinde kullanılan paket programları eğitimi verilmesini ister misiniz?	Evet	64,37±12,53	<0,001*
	Hayır	57,00±0,00	
Üniversitemiz bünyesinde inşaat firmalarının katılımı ile gerçekleştirilen kariyer günlerini yeterli buluyor musunuz?	Evet	69,26±14,75	<0,001*
	Hayır	62,85±11,38	
Üniversite size staj bulma konusunda fayda sağladığı mı?	Evet	69,92±12,87	<0,001*
	Hayır	61,80±11,48	

Tablo 5. Katılımcı öğrencilerin anabilim dalı yetkinliklerinin ortalama ve standart hata değerleri

Yetkinlik	(Ortalama/Standart Hata)		
	Teorik	Pratik	Gelecekteki Çalışma Alanı
Hidrolik	3.25/0.06	2.67/0.06	3.21/0.06
Ulaştırma	3.16/0.06	3.31/0.06	3.29/0.06
Geoteknik	3.49/0.06	3.31/0.06	3.82/0.06
Yapı/Yapı Mekanığı	3.64/0.05	3.36/0.06	3.72/0.05



Tablo 6. Cronbach alpha katsayısı ( $\alpha$ ) ve güven aralıkları

Cronbach Alpha Katsayısı	Yorum
$0.81 < \alpha < 1.00$	Yüksek Güvenilirlik
$0.61 < \alpha < 0.80$	Orta Güvenilirlik
$0.41 < \alpha < 0.60$	Düşük Güvenilirlik
$0.00 < \alpha < 0.40$	Güvenilir Değil

Tablo 7. Hipotez sonuçları

Hipotez	Kabul Edildi / Kabul Edilmedi	Hipotez	Kabul Edildi / Kabul Edilmedi	Hipotez	Kabul Edildi / Kabul Edilmedi
H1	Kabul Edilmedi	H6	Kabul Edildi	H11	Kabul Edildi
H2	Kabul Edildi	H7	Kabul Edilmedi	H12	Kabul Edildi
H3	Kabul Edildi	H8	Kabul Edilmedi	H13	Kabul Edildi
H4	Kabul Edildi	H9	Kabul Edildi	H14	Kabul Edildi
H5	Kabul Edilmedi	H10	Kabul Edildi	H15	Kabul Edildi

## 6. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği öğrencilerinin teorik olarak aldıkları derslerin yaz stajı ve bitirme projesine etkisi, mesleki eksikliklerinde farkındalıklar, yaz stajı ve/veya bitirme projesi derslerinin gelecekteki kariyer ve akademik tercihlerine etkisi anket çalışması ile incelenmiştir. Yaz stajı ve/veya bitirme projesi derslerinin öğrenciler veya inşaat mühendisliği mesleğine yeni başlayan mühendisler için neden faydalı olduğu konusunda bazı çıkarımlar aşağıda sunulmuştur.

- Mühendislik öğrencilerinin uzun kariyer hayatlarının ilk aşaması olarak görülen stajlar, gelecekteki mühendislik kariyerlerinde başarılı olabilmesi için önemli etkenlerden birisidir.

- Öğrenci, staj sırasında gerçek projeler üzerinde çalışır, mevcut piyasa trendlerini tanır, teknik becerilerini keskinleştirir ve talep üzerine teknik beceriler öğrenebilir. Bunun dışında staj, kurumsal dünyayla tanıştırır, mesleki etik öğretir, iletişim ve kişiler arası becerilerini parlatır. Bir staj ile, mezuniyetten öncesi bir mühendis tecrübesi kazanabilirler, bu da tam zamanlı bir işe girildiğinde çalışma ortamına zahmetsizce uyum sağlamak için son derece yardımcı olabilir.

- Staj deneyimi, beceri setini doğrular ve bu nedenle işe alım sürecini hızlandırır, yani bir işe yerleştirme/iş bulma şansını artırır. Ayrıca, önemli sayıda staj, öğrencinin yeteneklerini kanıtlama ve stajını tam zamanlı bir işe dönüştürme fırsatı veren bir ön yerleştirme teklifi ile birlikte gelir. Bunun yanı sıra stajlar, gelecekte iş başvurusu yaparken işinize yarayabilecek profesyonel ağına oluşmasına olanak tanır.

- Her mühendislik dalı, geniş bir konu alanıdır. Ancak, işteyken yalnızca belirli alanlarda çalışılması gerekmektedir.

Örneğin, bir inşaat mühendisi, köprü, akarsu, tünel, yazılım geliştirme veya diğer konularında uzmanlaşılabilir. Stajlar ve bitirme projeleri sayesinde, öğrenciye branşının farklı yönlerini keşfetme fırsatı sunar ve bir iş veya yükseköğrenim için en uygun alanı seçmesine yardımcı olur.

- Bir öğrenci bitiren projesi ve yaz stajında, yalnızca kendi alanlarında derinlemesine bilgi ve deneyim kazanmaz, aynı zamanda başkalarıyla bir ekipte nasıl çalışılacağını, diğer üyelerle işbirliğini, araştırma yapmayı, problemlere çözüm yolu bulmayı ve zaman yönetimini öğrenir.

- Stajlar ve bitirme projeleri, öğrencilerin eğitim süreleri boyunca hatalarından ders almalarına yardımcı olan aktif öğrenme yöntemlerindedir. Hatalarından öğrenmek, sonunda tam zamanlı bir iş rolüne geçiş yaparken onlar için gerçekten yardımcı olabilecek becerilerini geliştirir. İş rollerinde iyi performans göstermeleri için öğrenmeleri gereken güçlü, zayıf, bilgi veya becerilerini bilmelerine yardımcı olur.

Elde edilen istatistiksel sonuçlar doğrultusunda, öneriler aşağıda sunulmuştur.

- İnşaat Mühendisliği lisans eğitiminde mezuniyet şartı olarak iki farklı dönemde yaptıkları yaz stajı yerine, her bilim dalından ayrı ayrı staj yapmaları istenmelidir. Bu sayede mesleki anlamda daha yetkin ve gelecekte çalışma alanı hakkında daha detaylı ön fikre sahip olan mühendis adayları yetişebilecektir.

- Yukarıdaki önerinin gerçekleşmesi için öğretim üyelerinin de içerisinde bulunduğu, aktif bir mezun iletişim sistemi kurularak, öğrencilere staj yeri bulma konusunda destek verilmelidir. Sonuçlarda da belirtildiği gibi, staj yeri bulma

konusunda üniversiteden destek bulan öğrencilerin yetkinlikleri yüksektir. Bu sayede yetkinliğin artacağı düşünülmektedir.

• Sempozyum ve kariyer günleri artırılarak ve yüksek katılım sağlanmasının yetkinliği artıracığı düşünülmektedir.

## 7. Teşekkür

Bu çalışmaya verdikleri destekten dolayı Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK'a, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU'na ve ankete katılan öğrencilerimize teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Bayram, S., Dirikgil, T., Tantekin, G., Bulut, N., Haktanır, T. ve Laptalı, E., (2011). İnşaat mühendisliği bölümü öğrencilerinin mevcut eğitim sistemine bakışı ve çözüm önerileri. 2. *İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, Muğla*, 265-274.
- Demirtürk, D. ve Tunç, G., (2021). İnşaat mühendisliği eğitimi ve türkiye'de inşaat sektörünün lisans eğitimine bakış açısı. *Engineering Sciences*, 16 (1), 15-38.
- Elshorbagy, A., ve Schonwetter, D.J., (2002). Engineer morphing: bridging the gap between classroom teaching and the engineering profession. *International Journal of Engineering Education*, 18 (3), 295-300.
- Ersoy, U., (2009). İnşaat mühendisliği eğitiminde sorunlar, nedenleri ve çözüm yolları. 1. *İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, Ankara*, 23-29.
- Felder, R. ve Brent, R., (2009). *Active learning: an introduction*. ASQ Higher Education Brief, 1-5.
- Kaya, N., Yüncül, K. ve Çiçek, C., (2017). İnşaat mühendisliği öğrencilerinin bitirme projelerinin öğrenci tercihleri ve önem derecesine göre değerlendirilmesi. 4. *İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, İzmir*, 161-174.
- Kayıkçı, N.S., (2009). İnşaat mühendisliği eğitimi ve sorunları. 1. *İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, Antalya*, 385-391.
- King, W.S. ve Duan, L., (2010). Practical summer training in civil and construction engineering for cultivation of professional ability. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 136, 4, 233-238.
- Koçyiğit, Ö., Alyavuz, B. ve Bildirici, A., (2011). İnşaat mühendisliği eğitiminde staj. 2. *İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, Muğla*, 235-246.
- Likert, R.A., (1932). Technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 44-55.
- Marton, F., Hounsell, D. ve Entwistle, N.J., (1984). *The Experience of Learning*. Edinburgh Scottish Academic Press.
- Mertol, H. ve Yılmaz, F., (2011). İnşaat mühendisliği eğitiminde aktif öğrenme yöntemlerinin gerekliliği, 2. *İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, Muğla*, 265-274.
- Oğuz, S. Altın, S., Yaman, İ.Ö., Kırçıl, M.S., Bakır, A. ve Sönmez, G., (2009). İnşaat mühendisliği eğitiminde Türkiye gerçeği. 1. *İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, Antalya*, 207-241.

Özdamar, K., (2002). Paket Programlarla İstatistiksel Veri Analizi-1. *Kaan Kitabevi, Eskişehir*.

Soygür, Ü., (2009). 21. yüzyılda inşaat mühendisi yetiştirmek ne öğretilmeli-nasıl öğretilmeli, 1. *İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, Ankara*, 265-280.

Uğur, L.O., (2017). İnşaat mühendisliği eğitiminde, yapı işletmesi projesi dersi bünyesinde yapılan bir bilimsel makale hazırlama uygulaması ve getirileri. 4. *İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, İzmir*, 150-160.



# Compression and Three-Point Bending Analyzes of Aerospace Sandwich Composites Produced with Polymeric Core Materials using ANSYS

Erdem Tunca<sup>1\*</sup>, Haşim Kafalı<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Muğla Sıtkı Koçman University, Dalaman School of Civil Aviation, Muğla, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3488-8282), [erdemtunca@mu.edu.tr](mailto:erdemtunca@mu.edu.tr)

<sup>2</sup> Muğla Sıtkı Koçman University, Dalaman School of Civil Aviation, Muğla, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7740-202X), [hasimkafali@mu.edu.tr](mailto:hasimkafali@mu.edu.tr)

(First received 20 October 2021 and in final form 6 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012658)

**ATIF/REFERENCE:** Tunca, E. & Kafalı, H. (2021). Compression and Three-Point Bending Analyzes of Aerospace Sandwich Composites Produced with Polymeric Core Materials with ANSYS. *European Journal of Science and Technology*, (31), 553-561.

## Abstract

Honeycomb materials are widely used in aircraft structures. However, these structures have disadvantages in longitudinal compression forces. While aluminum is generally used as the face material in sandwich composites used in aircraft structures, Nomex honeycomb or aluminum honeycomb structures are used as the core material, depending on the design. The reduced interface area between the core and the surface layer also increases the probability of separation of the surface and core under an applied load. In this study, attention is drawn to the combination of polymeric foam - honeycomb structure as a potential material to eliminate or minimize these disadvantages of honeycomb core structures. In this study, polyurethane foam filled PLA (polylactic acid) honeycomb core sandwich composite with carbon fiber faces was subjected to compression and three-point bending tests in ANSYS. The results obtained show that this new material can be used in aerospace materials.

**Keywords:** Aeronautics, Honeycomb, Polyurethane, Sandwich Composite, ANSYS.

## Polimerik Çekirdek Malzemeler ile Üretilen Havacılık Sandviç Kompozitlerinin ANSYS ile Basma ve Üç Nokta Eğme Analizleri

### Öz

Bal peteği yapılar hava aracı malzemelerinde oldukça yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Ancak bu yapılar boylamasına basma kuvvetlerinde dezavantajlara sahiptirler. Hava aracı yapılarında kullanılan sandviç kompozitlerde genellikle yüzey malzemesi olarak alüminyum kullanılırken çekirdek malzemesi olarak tasarıma göre değişmekle birlikte Nomex petek ya da alüminyum petek yapılar kullanılmaktadır. Çekirdek ve yüzey tabakası arasındaki azaltılmış arayüz alanı, uygulanan bir yük altında iken yüzey ile çekirdeğin ayrılma olasılığını da arttırmaktadır. Bu çalışmada bal peteği çekirdekli yapıların bu dezavantajlarını ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için potansiyel bir malzeme olarak polimerik köpük – bal peteği yapı kombinasyonuna dikkat çekilmektedir. Bu çalışmada karbon fiber yüzeylere sahip içi poliüretan köpük dolgululu PLA (polylactic acid) bal peteği çekirdekli sandviç kompozit ANSYS'te basma ve üç nokta eğme testlerine tabii tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar bu yeni malzemenin havacılık yapılarında kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Havacılık, Bal Peteği, Poliüretan, Sandviç Kompozit, ANSYS.

\* Corresponding Author: [erdemtunca@mu.edu.tr](mailto:erdemtunca@mu.edu.tr)

# 1. Introduction

Composite materials find an increasing use in industries thanks to their high performance / mass ratio. Due to its lightweight, it finds an increasing area of use especially in the aviation industry. This high performance to mass ratio is caused by the use of materials with certain mechanical properties such as carbon, glass or Kevlar. In Figure 1, the material types and usage areas of the Boeing 787 aircraft are given. As can be seen from this graph, composite materials are finding an increasing area of use in the aviation industry and it is seen that composite materials are used more than other materials in the aviation industry (Bouvet, 2017).

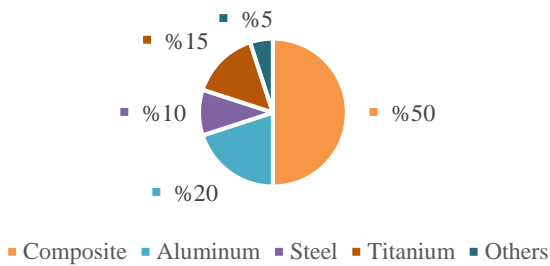


Figure 1. Materials usage rates of Boeing 787 aircraft (Bouvet, 2017)

Hermann et al. (2005) stated that while designing an aircraft, it is essential to choose materials that will lighten the structure as much as possible without reducing the strength. However, lightweight materials must be able to withstand loads that are the dual combination of these loads, in addition to the tensile and compressive loads on the structure. This requires the reinforcement of thin surfaces. T. von Karman and P. Stock received a first patent for a glider plane using sandwich construction for the fuselage structure. This situation can be considered as the first use of sandwich structures in aviation. The development and application of sandwich structures is progressing and has great potential in commercial aviation in the near and medium term. As shown in Figure 2 there is a wide variety of sandwich composite applications in AIRBUS aircraft. These applications are; typically seen on exterior structures, aerodynamic trims, hatches and doors. Also, throughout the AIRBUS fleet, there are various control surfaces made of sandwich composites (e.g. flight control surfaces such as rudder, aileron, spoiler). Since aircraft are exposed to very different environmental conditions, sandwich structures need different requirements.

During the flight, the external structures of the aircraft are exposed to different operating temperatures and aerodynamic loads arising from the flight. Radomes and leading-edge coatings are subject to impacts from bird strikes and abrasion from hail, lightning strikes, rain and dust. Also, electromagnetic wave transmittance is required for radar and avionic devices. Foreign body damage (FOD) caused by runway contamination poses a threat to surfaces in the lower part of the aircraft. These situations reveal various requirements (operational and environmental requirements) for sandwich composite structures to be used in different regions. Various combinations of sandwich composites can be found to meet such different needs in aircraft structures. Figure 3 shows the components that make up the sandwich composite. Common surface materials for sandwich composites are carbon fiber reinforced prepreps with glass fiber and epoxy resin matrix. The dominant core material for sandwich composites is NOMEX® honeycomb (Hermann et al., 2005). Toozandehjani et al. (2018) stated that the most widely used types of structural composites in the aerospace industry are layered composites and sandwich composite structures. Since sandwich composites are in the structural composite class, they are used in beams and panels that require high rigidity and strength. The outer layers of the sandwich composite are manufactured from a relatively hard and durable material (i.e. aluminum alloys, fiber-reinforced plastics, titanium, steel or plywood). Since the outer layers meet the load on the sandwich composite, they must be strong enough to meet the tensile and compression loads caused by the load. Therefore, the outer layers must be sufficiently rigid and thick. The core material should be light and have a low modulus of elasticity.

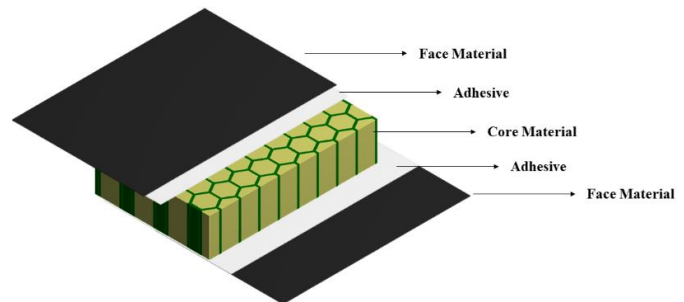


Figure 3. Components that make up the sandwich composite

Core materials typically categorized three subcategories. (1) Rigid polymeric foams (ie phenolics, epoxy, polyurethanes), (2) wood (i.e. balsa wood), and (3) honeycomb structures. Structurally, the core serves a variety of functions. The most basic function of the core material is to support the face materials. The core material must have sufficient shear strength and in addition be thick enough to provide high shear stiffness. Since the outer layers meet the main load on the structure, the tensile and compression loads on the core material are less than faces (Callister and Rethwisch, 2010). Xiong et al. (2019) stated that the core materials in sandwich composites should be both light and able to withstand the loads on them. Common configurations of lightweight cores include corrugated cores, honeycombs, foldcores, foam cores, and lattice cores. The manufacturing and maintenance challenges of traditional honeycomb core material with a higher surface area can be overcome by using polymeric foam cores. While the lower and upper layers of sandwich composite structures have a high strength but a thin structure, the core part has a lower strength compared to the layers and a high ability to absorb energy. Sandwich structures with honeycomb cores are preferred in order to absorb energy, especially in regions where high mechanical behaviour is expected under impact loads.

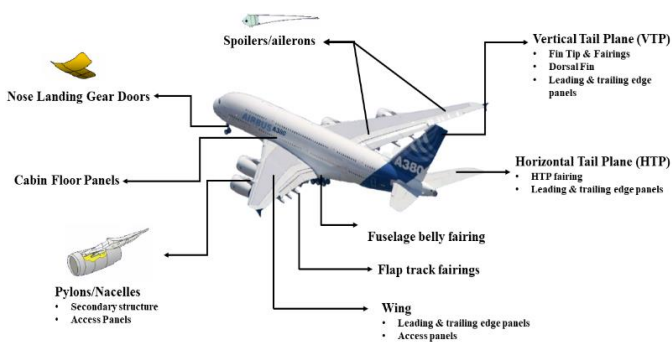


Figure 2. Sandwich composite applications on Airbus A380 aircraft (Hermann et al., 2005)



Honeycomb core sandwich composites are structures that show high strength under impact and compression loads. In order to structures with honeycomb core geometry to be preferred in applications, their mechanical properties should be known. In order to detect these properties, their properties can be determined in various ways such as impact test, bending test and compression test. It is known that composite materials with honeycomb core have high strength depending on the applied load in the surface impact tests and compression tests (Liu et al., 2019). Considering the sandwich composite structure with honeycomb core, delamination can easily occur in the structure since the honeycomb structure can only be adhered from the cell wall region seen in Figure 4. In order to improve the honeycomb structure, the following four items should be selected effectively (Zhang et al., 2015);

- Cell wall material
- Cell wall thickness
- Cell size
- Cell porosity.

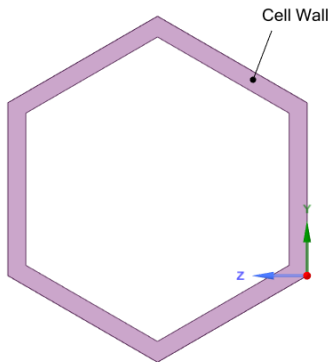


Figure 4. Representation of cell wall in honeycomb structure

However, due to the small amount of confining space between the honeycomb core materials and the surface layers, the honeycombs have strength limitations. The only way to increase the confining surface area is to increase the cell wall thickness. In addition, with the increase of the cell wall thickness, the weight of the structure may increase, which is an undesirable situation that contradicts the purpose of maintaining high strength and low weight of composite materials (Zhang et al., 2015). In addition, since the honeycomb structure is hollow, interfacial hardening methodologies are not suitable throughout the overall thickness. However, the foam-filled honeycomb core structure is suitable for this process. In addition, the foam-filled honeycomb core resists the load without premature bending or breaking under load. In contrast to hollow honeycomb cores, the foam core exhibits improved resistance to delamination and separation of interfacial bonds, due to an additional adhesive area of foam-filled honeycomb cells. Filling the honeycomb structure with foam improves the compression performance as well as the impact resistance of the sandwich structures. (Jayaram et al., 2019). Polymeric foam cores, due to the nature of the polymeric foam, destroy the moisture absorption capacity and layer separation of the surface layers. Thus, it can be ensured that these structures remain durable in humid environments and withstand loads and stresses. Polymeric foams provide low weight, ease of production, low production and maintenance costs, and most importantly, in addition to all these conveniences, they provide better mechanical strength (AZOM Materials, 2014). Sandwich composites used in

aircraft structures generally use aluminum as the face material and Nomex honeycomb or aluminum honeycomb structures as the core material, depending on the design. Honeycomb is attractive both for its high compressive strength and light weight and has a hollow structure as shown in Figure 2. However, honeycombs have some disadvantages when used for structural components of aircraft. When a crack starts in the honeycomb core sandwich composite, this crack can easily lead to a potential ingress of water into the open cell structure. Given the temperature variation an aircraft undergoes during operation, the evaporation and freezing of this water within the voids can result in internal damage to the sandwich composite that reduces service time for the structure (Çağlayan et al., 2019). In addition, the reduced interface area between the core and the surface layer increases the probability of separation of the surface and core when under an applied load. To overcome these disadvantages of honeycomb core structures, attention is drawn to polymeric foams as a potential material to minimize moisture absorption and separation. Polymeric foams are gaining increasing attention in both the scientific and industrial communities due to the advantages of lightness, rigidity and also multifunctionality (Çağlayan et al., 2019; Lee et al., 2005).

Polyurethane foams are formed by the reaction of polyol and isocyanate components. The use of polyol and isocyanate components in different proportions during the production of the foam provides foams with different properties. The soft segment (polyol) retains the elastomeric properties, while the hard segment (isocyanate) controls the stiffness and toughness properties (Rahman et al., 2019). One of the important monomers of PU is the commercially available polyol and can also be synthesized in laboratories by different techniques. The most commonly used polyols are known as polyether polyol and polyester polyol. It is common to use mixed polyols of different molecular weights and ratios to meet specific properties depending on the area in which the foam will be used. Different crosslinkers, additives and nanoparticles may also be included during PU synthesis. Depending on the application site, surfactants, blowing agents and pigments are also mixed into the PU (Rahman et al., 2019). Polymer foams have the advantage of adapting mechanical properties and adding versatility to their structure. In this way, it becomes attractive for various applications from insulation materials used in buildings to structural components of aircraft. Given these reinforcement pathways, sandwich composites using polymer foam as the core material can perform a variety of tasks, such as acoustic damping, a structural member against bending or impact, or a structure for electromagnetic interference (EMI) shielding (Caglayan et al., 2019).

In this study, hollow and foam-filled honeycomb core structures analyzes will be carried out, in which the disadvantages are eliminated by using these two materials together, as opposed to using only honeycomb core structure or using only polymeric foams in the literature. In this study, compression and three-point bending test' finite element analyses (FEA) were performed on ANSYS using a polyurethane foam filled PLA (polylactic acid) honeycomb core. The analysis results obtained were evaluated in terms of aerospace materials, and the potential for use in aerospace of this core structure, which consists entirely of polymeric materials, was interpreted.

## 2. Material and Method

As mentioned before, polyurethane foams are formed by the reaction of polyol and isocyanate components. The properties of polyurethane foam in the 'Granta Design Sample Materials' library in the ANSYS 2020 R1 program are given in Table 1. The properties of PLA (polylactic acid) in the 'Granta Design Sample Materials' library in the ANSYS 2020 R1 program are given in Table 2.

Table 1. Properties of polyurethane foam in ANSYS 2020 R1

Properties	Value and Unit
Density	192 kg/m <sup>3</sup>
Young's Modulus	6,61E+07 Pa
Poisson's Ratio	0,316
Bulk Modulus	5,9873E+07 Pa
Shear Modulus	2,5114E+07 Pa
Tensile Yield Strength	1,09E+06 Pa
Tensile Ultimate Strength	2,19E+06 Pa

Table 2. Properties of PLA (polylactic acid) in ANSYS 2020 R1

Properties	Value and Unit
Density	1250 kg/m <sup>3</sup>
Young's Modulus	3,45E+09 Pa
Poisson's Ratio	0,39
Bulk Modulus	5,2273E+09 Pa
Shear Modulus	1,241E+09 Pa
Tensile Yield Strength	5,41E+07 Pa
Tensile Ultimate Strength	5,92E+07 Pa

Geometric features of the honeycomb core structure drawn in CATIA V5 for finite element analysis are given in Figure 5 and 6. Figure 5 shows the geometric properties of the edge length and cell wall thickness of a hexagonal structure (of a cell). Accordingly, while one side of the hexagonal structure is 13 mm, the cell wall thickness is designed as 3 mm.

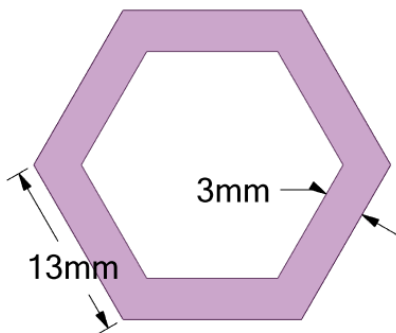


Figure 5. Dimensions of the hexagonal structure

As shown in Figure 6, the dimensions of the honeycomb core used in the analyzes were determined as 220 x 150 x 50 mm. Carbon fiber faces have been added to the bottom and top faces of the foam filled honeycomb core in the ANSYS ACP module. The same process was applied to the hollow honeycomb core in the ANSYS ACP module.

The produced sandwich composites are shown in Figure 7. The mass values obtained from ANSYS for the produced sandwich composites are given in Table 3.

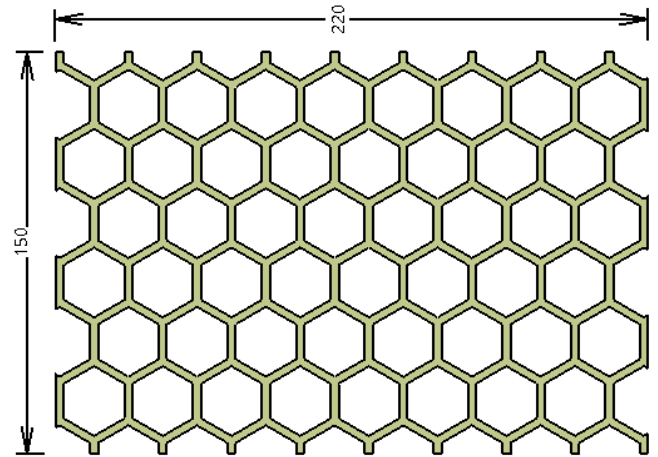


Figure 6. Dimensions of the honeycomb structure

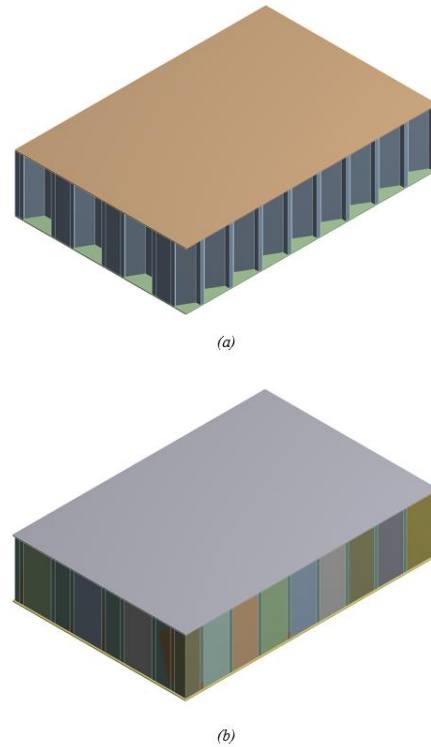


Figure 7. Sandwich composites produced in ANSYS (a) hollow honeycomb core, (b) foam filled honeycomb core

Table 3. Mass values of analysis materials

Material	Mass
Carbon fiber faces + PLA honeycomb core	0,98615 kg
Carbon fiber faces + Polyurethane foam filled honeycomb core	1,5073 kg

## 2.1. Analysis Settings

Analyses on ANSYS were performed separately for sandwich composite with hollow PLA honeycomb structure and for sandwich composite with polymeric foam filled PLA honeycomb core. As mentioned before, compression and three-point bending tests were performed. Flatwise and edgewise compression tests were carried out for the compression test. In this section, the boundary conditions determined for the analysis are shown. Boundary conditions are only shown for the sandwich composite with a hollow honeycomb core. Analyses were carried out using the same boundary conditions for the sandwich composite with a foam filled honeycomb core.

Figure 8 shows the surfaces on which the forces are applied during the compression tests and the fixed supports. Figure 9 shows the boundary conditions for the three-point bending test.

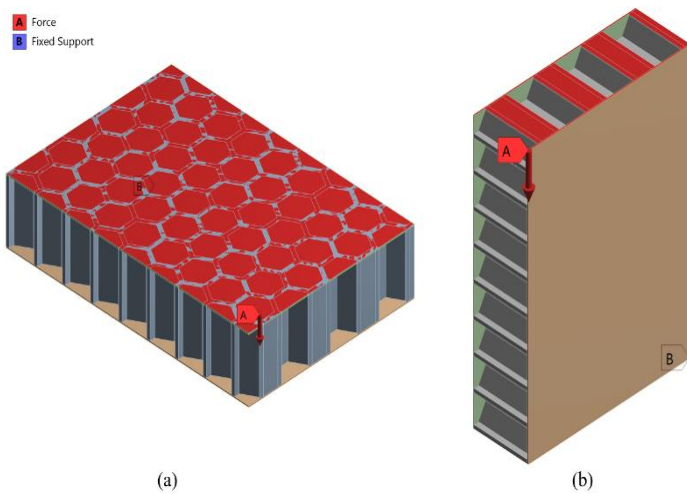


Figure 8. Surfaces where forces are applied in compression analysis and fixed supports (a) flatwise compression, (b) edgewise compression

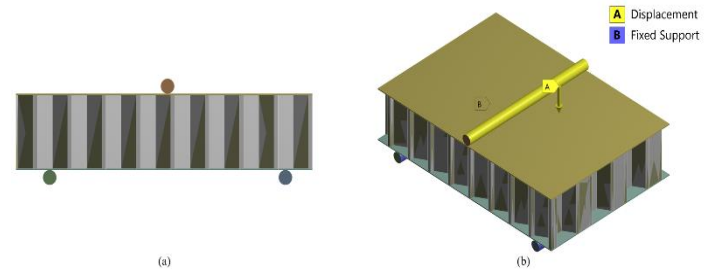


Figure 9. Three-point bending test set-up (a) bending surfaces (b) fixed support surfaces and displacement vector

The force values for compression tests are up to 125 kN. In the three-point bending test, the displacement value is up to 15 mm.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Flatwise Compression Test Results

The total deformation values obtained after the flatwise compression test are shown in Figure 10. According to these values, a maximum total deformation of 0,77228 mm occurred in the hollow honeycomb structure, while a maximum total deformation of 0,6885 mm occurred in the polyurethane foam filled honeycomb structure. Figure 11 shows the equivalent (von-Mises) stress values after the flat compression test. In the light of these values, a maximum equivalent stress value of 931,54 MPa was observed in the hollow honeycomb structure, while a maximum equivalent stress value of 675,98 MPa was obtained in the foam-filled honeycomb structure. Figure 12 shows the equivalent elastic strain values after the flat compression test. In the scope of these values, a maximum elastic strain value of 0,031436 was observed in the hollow honeycomb structure, while a maximum elastic strain value of 0,09071 was obtained in the foam-filled honeycomb structure. Yan et al. filled the 3D printed honeycomb core with insulation foam (polymethacrylimide - PMI) and examined their mechanical behaviour. Although the compressive strength of the foam filled honeycomb structure increased by 23.5% in flatwise compression test, there was not much change in the elastic modulus and energy absorption ability. The foam filling did not make a huge difference in flatwise compression, but it was quite effective in edgewise compression strength (Yan et al., 2020).

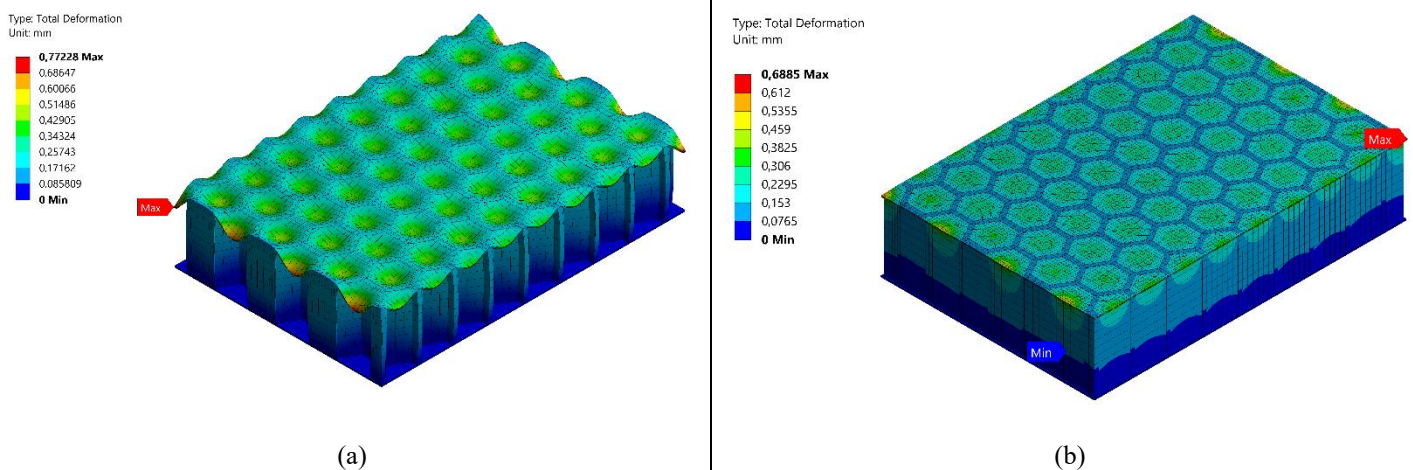
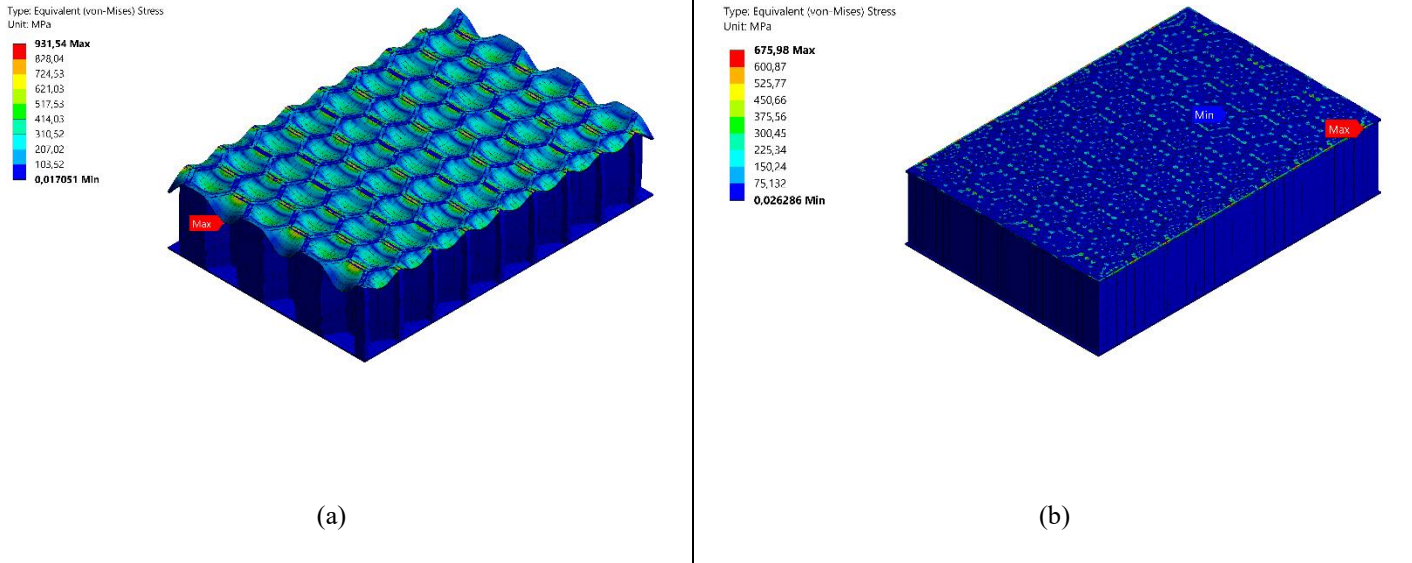
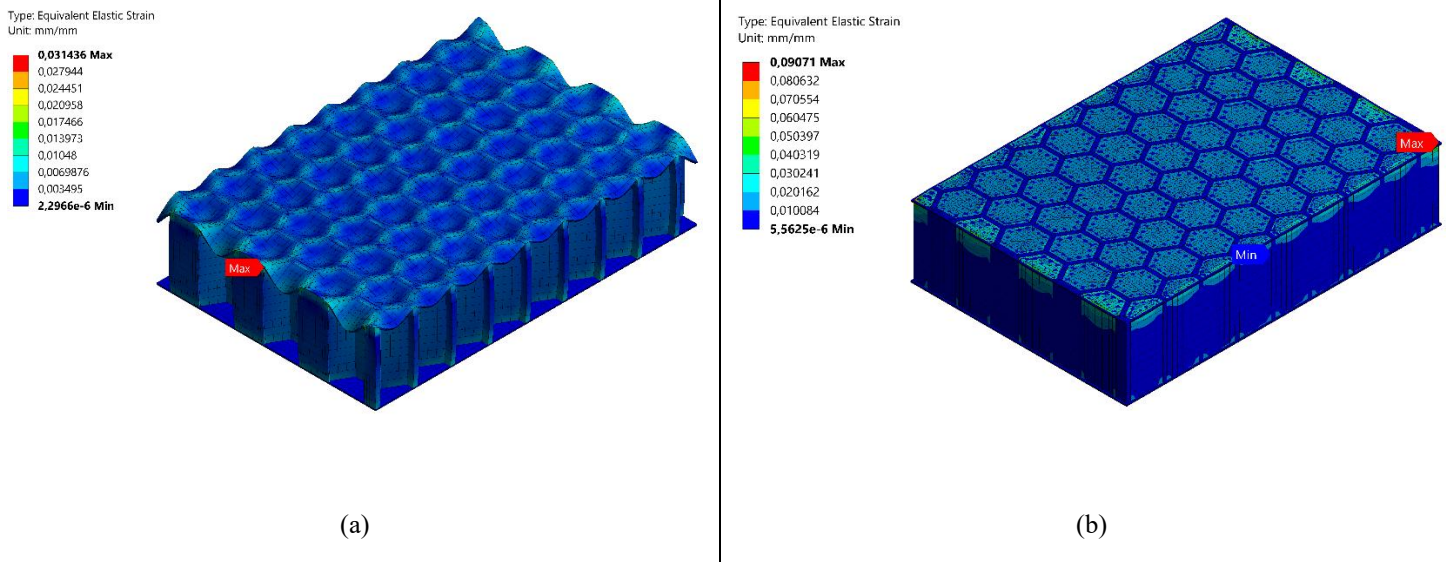


Figure 10. Flatwise compression test total deformation results (a) hollow honeycomb (b) foam filled honeycomb





*Figure 11. Flatwise compression test equivalent stress results (a) hollow honeycomb (b) foam filled honeycomb*



*Figure 12. Flatwise compression test equivalent elastic strain results (a) hollow honeycomb (b) foam filled honeycomb*

**3.2. Edgewise Compression Test Results**

The total deformation values obtained after the flatwise compression test are shown in Figure 13. According to these values, a maximum total deformation of 16,101 mm occurred in the hollow honeycomb structure, while a maximum deformation of 4,1001 mm occurred in the polyurethane foam filled honeycomb structure. Figure 14 shows the equivalent (von-Mises) stress values after the flatwise compression test. In the light of these values, a maximum equivalent stress value of 8465,8 MPa was observed in the hollow honeycomb structure, while a maximum equivalent stress value of 1760,2 MPa was obtained in the foam-filled honeycomb structure. Figure 15 shows the

equivalent elastic strain values after the flatwise compression test. In the scope of these values, a maximum elastic strain value of 0,38855 was observed in the hollow honeycomb structure, while a maximum elastic strain value of 0,51463 was obtained in the foam-filled honeycomb structure. Yan et al. in the edgewise compression tests they applied to the 3D printed honeycomb structure filled with insulation foam, they observed quite good improvements in mechanical strength. According to the results they obtained, they observed an improvement of 306.5% in the longitudinal compression direction (L-direction) and 410.5% in the transverse (W-direction) compression direction (Yan et al., 2020).



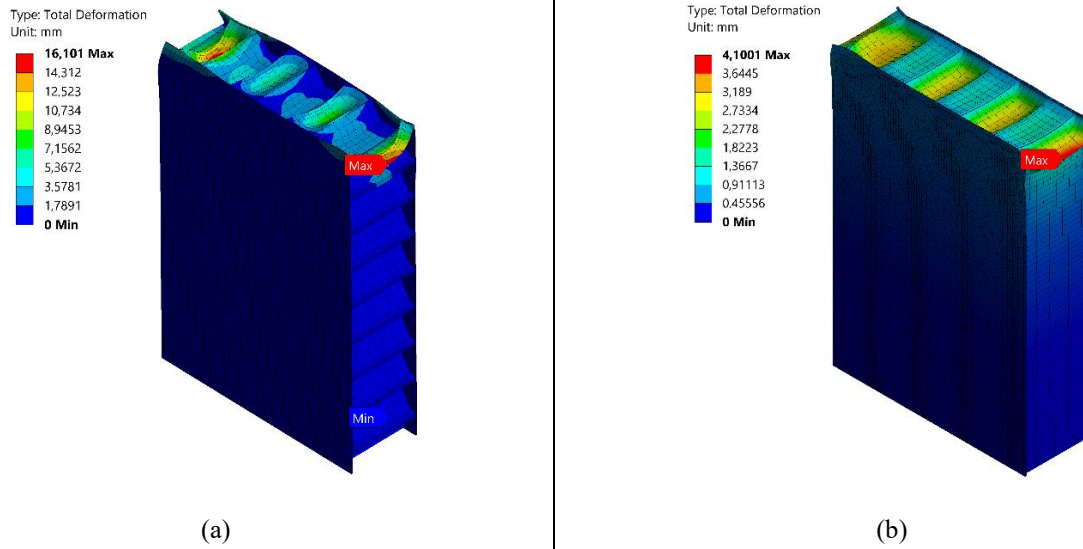


Figure 13. Edgewise compression test total deformation results (a) hollow honeycomb (b) foam filled honeycomb

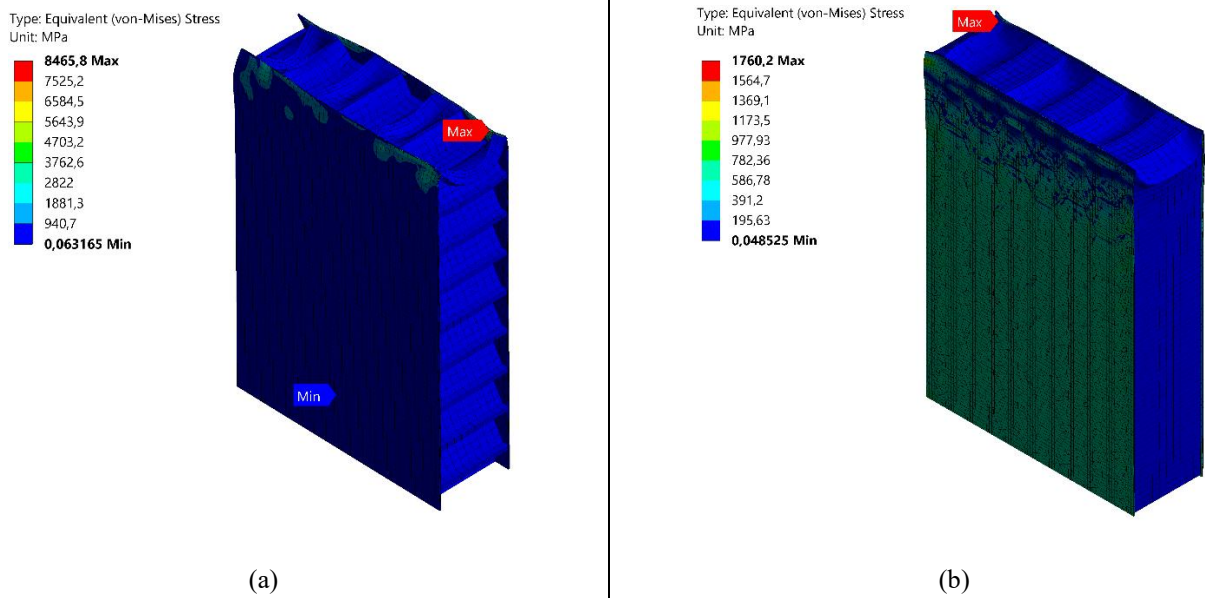


Figure 14. Edgewise compression test equivalent stress results (a) hollow honeycomb (b) foam filled honeycomb

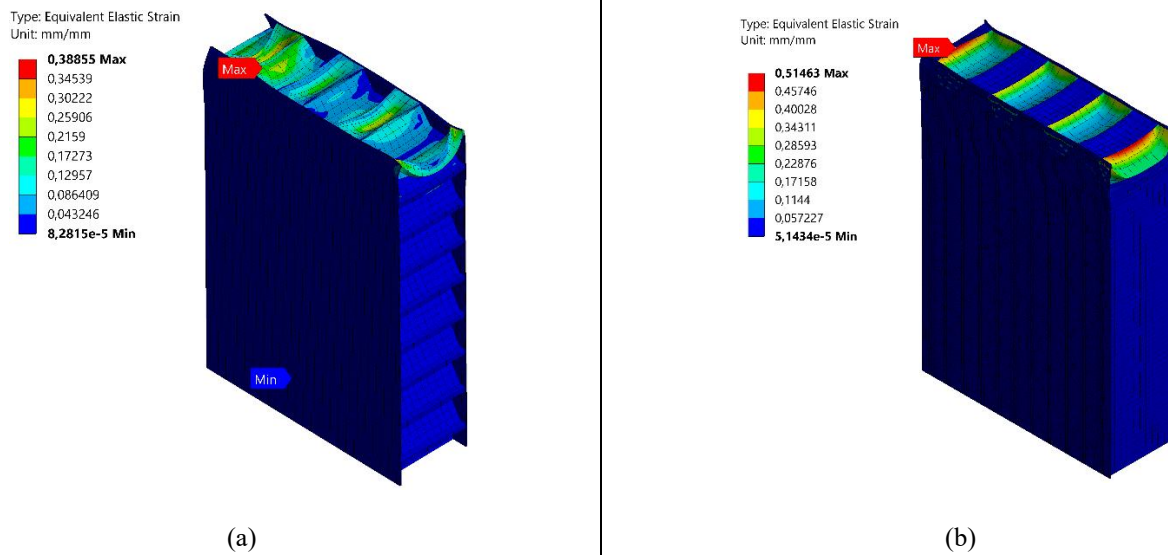


Figure 15. Edgewise compression test equivalent elastic strain results (a) hollow honeycomb (b) foam filled honeycomb

### 3.3. Three-Point Bending Test Results

The total deformation values obtained after the three-point bending test are shown in Figure 16. According to these values, a maximum total deformation of 15,988 mm occurred in the hollow honeycomb structure, while a maximum total deformation of 15,245 mm occurred in the polyurethane foam filled honeycomb structure. Figure 17 shows the equivalent (von-Mises) stress values after the three-point bending test. In the light of these values, a maximum equivalent stress value of 8695,5 MPa was observed in the hollow honeycomb structure, while a maximum equivalent stress value of 10460 MPa was obtained in the foam-

filled honeycomb structure. Figure 18 shows the equivalent elastic strain values after three-point bending test. In the scope of these values, a maximum elastic strain value of 0,47169 was observed in the hollow honeycomb structure, while a maximum elastic strain value of 0,11888 was obtained in the foam-filled honeycomb structure. In a study in the literature, bending tests were carried out using two different core materials (nomex core, 3D printed core) whose face materials are glass epoxy. According to the results, the 3D printed core showed more resistance to the load than the nomex core. The 3D printed core was able to withstand a peak load of 2266.60 N (Pirouzfard and Zeinedini, 2021).

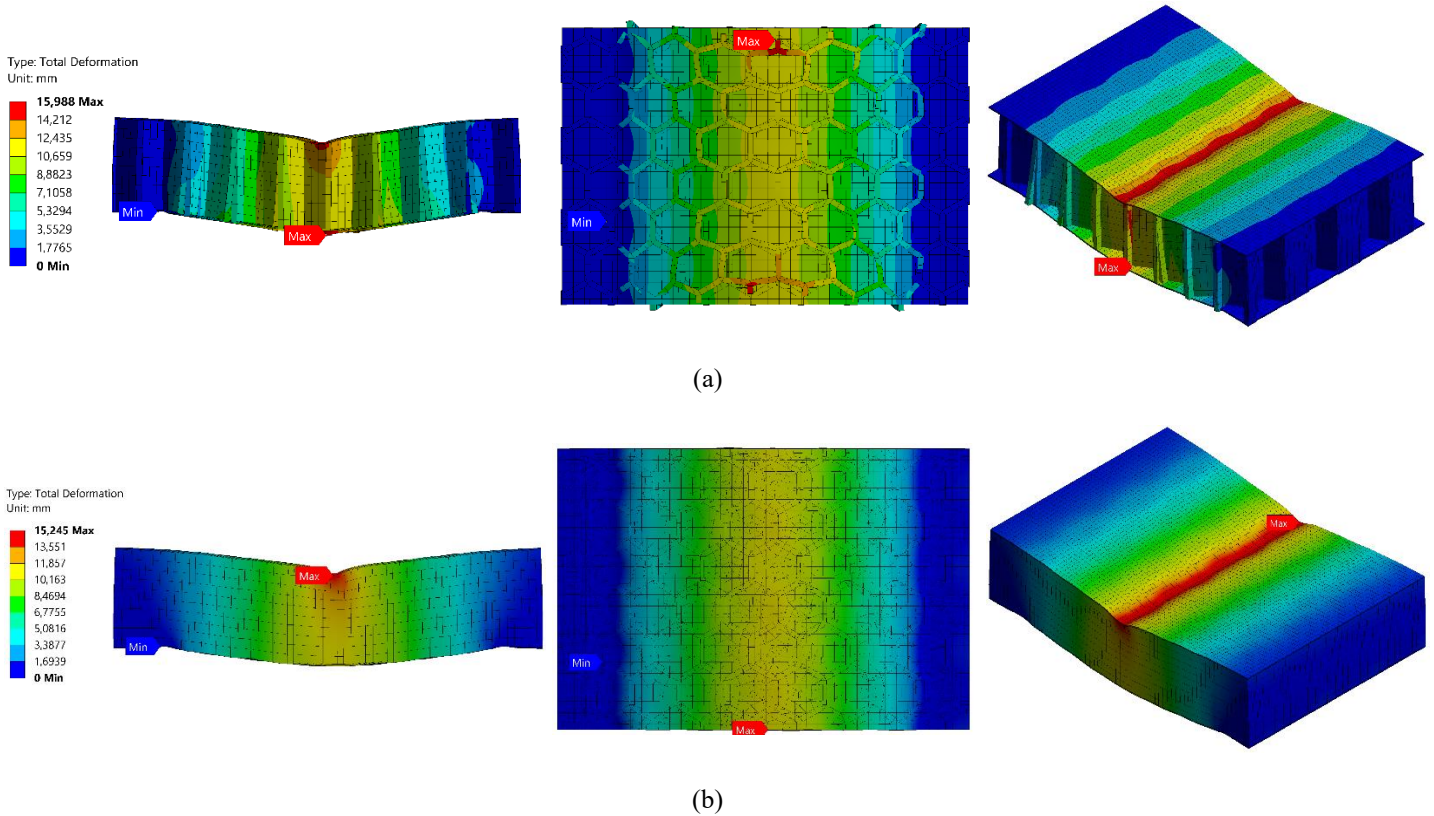


Figure 16. Three-point bending test total deformation results (a) hollow honeycomb (b) foam filled honeycomb

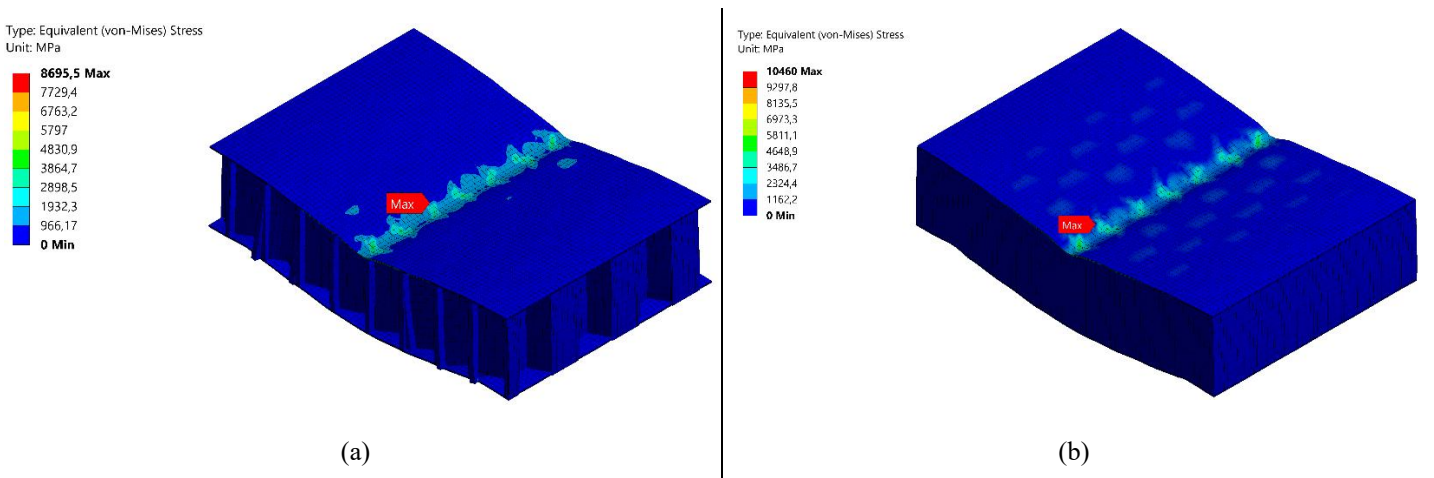


Figure 17. Three-point bending test equivalent stress results (a) hollow honeycomb (b) foam filled honeycomb

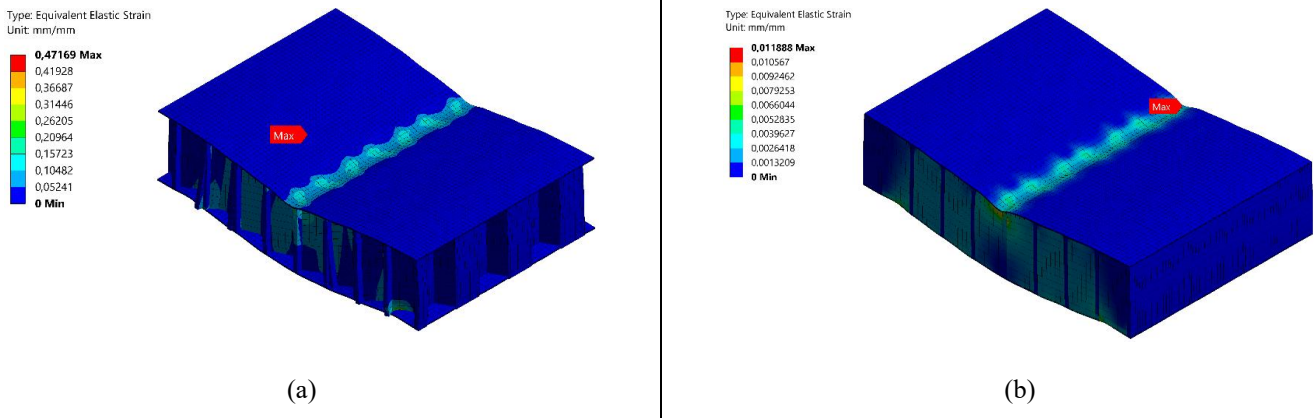


Figure 18. Three-point bending test equivalent elastic strain results (a) hollow honeycomb (b) foam filled honeycomb

## 4. Conclusions and Recommendations

When the results obtained within the scope of the analyzes are examined, the polyurethane foam filling significantly increased the mechanical strength. Although there was not a big difference in the total maximum deformation in the flatwise compression test, a 4 times visible difference was observed in the maximum total deformation in the edgewise compression test. This made the honeycomb structures of the foam filling more resistant to edgewise compression forces. Likewise, there is not much difference between the equivalent stress and equivalent strain values in the flatwise compression tests. However, significant differences were observed in the equivalent stress and equivalent strain values obtained in the edgewise compression test.

Since the foam filling is more effective in edgewise compression forces, when the results of the three-point bending test are examined, there is no significant difference in the total amount of deformation, but a significant difference is observed in the maximum equivalent stress and equivalent strain amounts. When the maximum equivalent stress values are examined, more stress has occurred in the polyurethane foam filled structure, unlike the compression test results. However, when the maximum equivalent strain amount is examined, it is seen that it is smaller despite the more stress that occurs. This is due to the effects of compressive force and tensile force occurring in the three-point bending test. Therefore, it is seen that the sandwich composite with polyurethane foam filled core is more successful in the three-point bending test. Foam filling has only one disadvantage, which is the relative increase in weight. As can be seen in Table 3, an increase of approximately 52% occurred in weight. Open cell (flexible) polyurethane foams can be used to reduce the weight increase effect. The proposed material can be used in aircraft fuselage structures, cabin floor structures, wings and flight control surfaces. The proposed material can be used as wing construction material in aircraft (i.e. commercial aircraft, fighter aircraft, and unmanned aircraft), especially since the wing roots are subjected to intense compression load.

## References

- Bouvet, C. (2017). *Mechanics of Aeronautical Composite Materials*. John Wiley & Sons
- Caglayan, C., Gurkan, I., Gungor, S., & Cebeci, H. (2018). The effect of CNT-reinforced polyurethane foam cores to flexural properties of sandwich composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 115, 187-195.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2011). *Materials science and engineering* (2010). John Wiley & Sons.
- Evonik Industries. (2019, July 15). Polymethacrylimide Foam for Damage Tolerant Structures for Better Damage Visibility in Aerospace Components. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=10501>
- Herrmann, A. S., Zahlen, P. C., & Zuardy, I. (2005). Sandwich structures technology in commercial aviation. In *Sandwich structures 7: Advancing with sandwich structures and materials* (pp. 13-26). Springer, Dordrecht.
- Jayaram, R. S., Nagarajan, V. A., & Vinod Kumar, K. P. (2019). Compression and low velocity impact response of sandwich panels with polyester pin-reinforced foam filled honeycomb core. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 21(6), 2014-2030.
- Lee, L. J., Zeng, C., Cao, X., Han, X., Shen, J., & Xu, G. (2005). Polymer nanocomposite foams. *Composites science and technology*, 65(15-16), 2344 – 2363.
- Liu, J., Chen, W., Hao, H., & Wang, Z. (2019). Numerical study of low-speed impact response of sandwich panel with tube filled honeycomb core. *Composite Structures*, 220, 736-748.
- Pirouzfard, S., & Zeinedini, A. (2021, October). Effect of geometrical parameters on the flexural properties of sandwich structures with 3D-printed honeycomb core and E-glass/epoxy Face-sheets. In *Structures* (Vol. 33, pp. 2724-2738). Elsevier.
- Rahman M.M., Rabbani M.M., Saha J.K. (2019) Polyurethane and Its Derivatives. In: Jafar Mazumder M., Sheardown H., Al-Ahmed A. (eds) *Functional Polymers. Polymers and Polymeric Composites: A Reference Series*. Springer, Cham.
- Toozandehjani, M., Kamarudin, N., Dashtizadeh, Z., Lim, E. Y., Gomes, A., & Gomes, C. (2018). Conventional and advanced composites in aerospace industry: technologies revisited. *Am. J. Aerosp. Eng.*, 5, 9-15.
- Xiong, J., Du, Y., Mousanezhad, D., Eydani Asl, M., Norato, J., & Vaziri, A. (2019). Sandwich Structures with Prismatic and Foam Cores: A Review. *Advanced Engineering Materials*, 21(1), 1800036.
- Yan, L., Zhu, K., Zhang, Y., Zhang, C., & Zheng, X. (2020). Effect of Absorbent Foam Filling on Mechanical Behaviors of 3D-Printed Honeycombs. *Polymers*, 12(9), 2059.
- Zhang, Q., Yang, X., Li, P., Huang, G., Feng, S., Shen, C., ... & Lu, T. J. (2015). Bioinspired engineering of honeycomb structure—Using nature to inspire human innovation. *Progress in Materials Science*, 74, 332-400.





# Pütresin'in Tuz Stresi Altında Yetişen Yer Fıstığı (*Arachis hypogaea* L.)'na Etkisi

Abdurrahim Yılmaz<sup>1\*</sup>, Vahdettin Çiftçi<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9991-1792), [ayilmaz88@hotmail.com](mailto:ayilmaz88@hotmail.com)

<sup>2</sup> Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0440-5959), [vahdet2565@yahoo.com](mailto:vahdet2565@yahoo.com)

(İlk Geliş Tarihi 21 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013051)

**ATIF/REFERENCE:** Yılmaz, A. & Çiftçi, V. (2021). Pütresin'in Tuz Stresi Altında Yetişen Yer Fıstığı (*Arachis hypogaea* L.)'na Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 562-567.

## Öz

Dünyada değişen iklim koşulları, bitkilerin verimliliğini azaltmakta ve gıda güvenliği sorunları oluşturmaktadır. Gıda güvenliği ve kıtlık sorunlarının azaltılması bağlamında yer fıstığı, beslenme ihtiyaçlarını karşılamak adına olağanüstü bileşenler içermektedir. Flavonoidler, Fenolikler, resveratrol ve polifenoller dahil olmak üzere bünyesinde birçok biyoaktif bileşen bulunan yer fıstığı çok amaçlı kullanım alanlarına sahip yağlı tohumlu bir baklagil bitkisidir. Bu çalışma, iklim odasında tuz stresi koşullarında yetiştirilen yer fıstığı bitkisinin pütresin uygulaması ile morfolojik parametreler ve klorofil miktarı üzerine nasıl değişime uğrayacağını gözlemlemek adına yürütülmüştür. Tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulan çalışmada gövde uzunluğu, gövde ağırlığı, kök uzunluğu, kök ağırlığı, yaprak sayısı, yaprak ağırlığı ve klorofil miktarı değerleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda yüksek tuz stresi şartlarında (300 mM) kontrol ve pütresin uygulaması arasında istatistiki olarak farklılıklar tespit edilmiştir. Özellikle klorofil miktarı değerlerinde pütresin uygulamasından elde edilen sonuçlar bu uygulamanın yararlılığını ispatlar niteliktedir. Kontrol grubunun 300 mM tuz uygulamasında görülen yapraklardaki sararma başlangıcının pütresin uygulaması ile ortadan kalktığı görülmüştür. Deneme sonuçlarından elde edilen bilgilerin yer fıstığının tuz stresi dayanıklılığını araştıran müteşebbislere faydalı olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** NaCl, Spad, Klorofil, Gıda Güvenliği, Kıtlık

## Effect of Putrescine on Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Growing under Saline Stress

### Abstract

Changing climatic conditions in the world reduce the productivity of plants and create food safety problems. In the context of food security and reducing scarcity problems, peanuts contain extraordinary components to meet their nutritional needs. Peanut, which contains many bioactive components including flavonoids, phenolics, resveratrol, and polyphenols, is an oilseed legume plant with multi-purpose uses. This study was carried out to observe how the peanut plant grown under salt stress conditions in the climate chamber would change the morphological parameters and chlorophyll amount with the application of the putrescine. Stem length, stem weight, root length, root weight, leaf number, leaf weight, and chlorophyll content values were determined in the study, which was established with 3 replications according to the randomized plots experimental design. As a result of the study, statistical differences were determined between control and putrescine application under high salt stress conditions (300 mM). The results obtained from the putrescine application, especially in chlorophyll content values, prove the usefulness of this application. It was observed that the yellowing on the leaves of the control group, which was observed in the application of 300 mM salt, disappeared with the application of putrescine. It is thought that the information obtained from the trial results will be beneficial to the entrepreneurs investigating the salt stress resistance of the peanut.

**Keywords:** NaCl, Spad, Chlorophyll, Food Security, Famine

\* Sorumlu Yazar: [ayilmaz88@hotmail.com](mailto:ayilmaz88@hotmail.com)



## 1. Giriş

Yerfıstığı (*Arachis hypogaea* L.), dünyanın yarı kurak tropikal ve subtropikal bölgelerinde 40° Kuzey ve 40° Güney arasında yetiştirilen önemli bir yağ verimli baklagil bitkisidir (Shoba vd., 2012). Genellikle düşük girdili tarım sistemlerinde ve özellikle gelişmekte olan Afrika ve Asya ülkelerinde yetiştirilmektedir (Bhatnagar-Mathur vd., 2014). Fıstık tohumları yüksek oranda yağ (%35-56), protein (%25-30) ve karbonhidrat (%21) içermektedir. Bu nedenle insan beslenmesi için oldukça önemli bir bitkidir (Gulluoglu vd., 2016; Kurt ve vd., 2017). Yerfıstığı tohumları yaygın olarak bitkisel yağ üretimi, çerez ve fıstık ezmesi gibi diğer ürünler için kullanılmaktadır (Caliskan vd., 2008). Dünya yağlı tohum ihtiyacının yaklaşık %8'lik kısmı yer fıstığı tarımından karşılanmaktadır (Yılmaz vd., 2021). Dünya çapında yaklaşık 30 milyon hektar civarı ekimi yapılan yer fıstığının üretim miktarı 48 milyon ton civarındadır. Dünyanın en büyük yer fıstığı üreticisi olan Çin, 2019 yılında yaklaşık 4,5 milyon hektarlık alanda ekim yaparak 17,5 milyon ton bakla üretmiştir (Food and Agriculture Organization, 2021).

Küresel ısınmanın bir sonucu, yağış rejimlerinin değişmesi, dünya çapında sel ve kuraklık olaylarının sıklığının artmasıdır (Hirabayashi vd., 2013). Kıyı bölgelerinde yükselen deniz seviyeleri (Carter vd., 2006; Martin vd., 2011) ve yüksek sodyumlu toprakların genişlemesi (Ghassemi vd., 1995) ile birlikte birleşik su basması ve tuzluluk stresi meydana gelmektedir (Bennett vd., 2009) Tuzluluk stresi, dünya çapında tarımsal ürünlerin verimini azaltan en önemli abiyotik faktörlerden biridir. Dünyada sulanan arazilerin yaklaşık %50'sinde tuzluluk sorunu bulunmaktadır. Tuzluluk sorununun etkilerinden biri de bitkiler için toksik olan sodyum ve klorür iyonlarının dokularda birikmesidir (Zhang & Shi 2013; Maathuis vd., 2014; Estajia vd., 2018). Toprak tuzluluğu koşulları, bitki zarının bütünlüğünü, pigment içeriğini, osmotik ayarlamaları, su tutma kapasitesini ve fotosentetik aktiviteyi bozarak yerfıstığının büyümesini ve üretkenliğini etkileyen karmaşık abiyotik stresler olarak kabul edilmektedir (Benjamin & Nielsen 2006; Bhatnagar-Mathur vd., 2009). Dünya çapında fıstık yetiştirilen alanların yaklaşık %70'i, kuraklığın fıstık üretimini sınırlayan önemli bir çevresel kısıtlama olduğu yarı kurak bölgelerde yer almaktadır (Sarkar vd., 2014). Bu gibi marjinal bölgelerde mahsul üretimini önemli ölçüde artırmadan, gelişen dünya nüfusu için gıda güvenliğini sağlamak neredeyse imkansızdır (Bartels, 2001). Bu nedenle, dünyanın kuraklığa eğilimli ve tuzluluktan etkilenen geniş bölgelerinde daha verimli fıstık üretimi için abiyotik streslere dayanıklılığı sağlayan uygulamaların tespit edilmesi ve bu uygulamaların optimize edilmesi gerekmektedir.

Poliaminler iki veya daha fazla amino grubu içeren ve bitkilerin büyüme, gelişme ve yaşlanma gibi bazı temel fizyolojik süreçlerine bağlı evrensel organik polikasyonlardır (Bais & Ravishankar 2002). Ozmoz ve hücreden ROS (reaktif oksijen türleri) atılımını ayarlayarak biyotik ve abiyotik streslere yanıt verebilen poliaminler (Aziz vd., 1999; Farooq vd., 2009), böylece bitkilerin normal fizyolojik süreçlerini düzenleyebilmektedir (Pal vd., 2015; Chen vd., 2019). Tuzluluk, bitkilerde çeşitli ROS biriktirerek ve antioksidan enzim aktivitelerini inhibe ederek morfolojik ve metabolik süreçleri etkilemektedir (Parvin vd., 2014). Poliaminler, Na<sup>+</sup> birikimini

azaltmakta, tuzluluktan etkilenen bitkilerin antioksidan aktivitelerini ve fotosentetik kapasitesini arttırmaktadırlar (Alcázar vd., 2020). Poliamin biyosentez yolunda, pütresin merkezi bir üründür (Chen vd., 2019). Daha önceki raporlara göre putresinin tuzluluk stresinde birçok koruyucu rolü bulunmaktadır (Farsaraei vd., 2021). Yukarıdaki literatür ışığında, bu çalışmada pütresin uygulamasının tuz stresi altındaki yer fıstığı bitkisine etkileri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu araştırma Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'nde yürütülmüştür. Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Progen tohum şirketinden temin edilen 'Halisbey' tescilli yer fıstığı çeşidine ait tohumlar saksıya ekilip kontrollü iklim odası koşullarında yetiştirilmiştir. Bitkiler 3 haftalık yetiştirme dönemi sonrası hasat edilmiştir.

### 2.1. Tuz uygulaması

Yer fıstığı bitkileri, 2 haftalık bir yetiştirme dönemi sonrası 150 mM ve 300 mM NaCl ile 5 gün boyunca kademeli olarak tuz stresine maruz bırakılmıştır.

### 2.2. Pütresin uygulaması

Sigma Aldrich firmasından temin edilen pütresin 0,5 mM (Sheokand vd., 2008) dozunda yapraktan sprey şeklinde tuz uygulaması öncesi ve sonrası olmak üzere 2 kere verilmiştir.

### 2.3. Fiziksel analizler

#### 2.3.1. Gövde Uzunluğu

Toprak seviyesinden bitkilerin en üst seviyedeki yaprak uzantısına kadar olan mesafe gövde uzunluğu olarak cm cinsinden ölçülmüştür.

#### 2.3.2. Kök Uzunluğu

Bitki topraktan çıkarıldıktan sonra kök bölgesinin toprak yüzeyine gelen noktaya kadar olan kısmı kesilmiştir. Kök bölgesi bu noktadan en alt kök uzantısına kadar cm cinsinden ölçülmüştür.

#### 2.3.3. Gövde Ağırlığı

Bitkinin toprak üstünde kalan kısmı gövde bölgesi olarak değerlendirilmiş ve hassas terazide tartılıp g/bitki cinsinden hesaplanmıştır.

#### 2.3.4. Kök ağırlığı

Bitkinin toprak altında kalan kısmı kök bölgesi olarak değerlendirilmiş ve hassas terazide tartılıp g/bitki cinsinden hesaplanmıştır.

#### 2.3.5. Yaprak Sayısı

Bitkilerin tüm yaprakları sayılmış, adet/bitki olarak hesaplanmıştır.

#### 2.3.6. Yaprak Ağırlığı

Sayımla yapılan yaprakların ağırlıkları hassas terazide tartılıp g/bitki cinsinden hesaplanmıştır.

## 2.4. Klorofil miktarı

Klorofil miktarı ölçümleri 'Apogee MC-100 Chlorophyll Concentration Meter' cihazı kullanılarak 'spad' birimi ile bitkinin orta yapraklarından yapılmıştır.

## 2.5. İstatistiksel analiz

Elde edilen bulguların istatistiksel analizleri R studio programı ile yapılmıştır. Uygulamalar arası farkın belirlenmesinde Student-t testi ( $\alpha=0,05$ ) kullanılmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Fiziksel analizler

Araştırmada elde edilen fiziksel analiz bulgularına ait görüntü ve sayısal veriler Tablo 1, Şekil 1 ve Şekil 2'de yer almaktadır. Elde edilen sonuçlara göre gövde uzunluğunda en yüksek ortalama değer 20,6 cm ile kontrol/0 mM NaCl uygulamasından, en düşük ortalama değer ise 10,9 cm ile kontrol/300 mM NaCl uygulamasından alınmıştır. Pütresin ve kontrol grubunun 300 mM dozlarından elde edilen gövde uzunluklarında istatistiki olarak bir fark oluşmamıştır. Ancak yine de yüksek tuz stresi şartlarında gövde uzunluğunun pütresin uygulaması ile artış gösterdiği görülmüştür (Tablo 1, Şekil 2).

Kök uzunluğunda en yüksek ortalama değer 37,6 cm ile pütresin/0 mM NaCl uygulamasından, en düşük ortalama değer ise 23,7 cm ile kontrol/300 mM NaCl uygulamasından elde edilmiştir. Pütresin ve kontrol grubunun 300 mM dozlarından elde edilen kök uzunluklarında istatistiki olarak önemli bir fark oluşmuştur. Bu sonuç ile yüksek tuz stresi şartlarında kök uzunluğunun pütresin uygulaması ile önemli derecede artış gösterdiği ifade edilmelidir (Tablo 1, Şekil 2).

Gövde ağırlığında en yüksek ortalama değer 6,0 g/bitki ile kontrol/0 mM NaCl uygulamasından, en düşük ortalama değer ise 3,3 g/bitki ile kontrol/300 mM NaCl uygulamasından elde edilmiştir. 0 mM ve 150 mM tuz uygulamalarında pütresinsiz gruptan daha iyi sonuçlar alınsa da pütresinli uygulamalar içerisinde yüksek dozda tuz uygulamalarında kontrol grubuna göre daha yüksek değerler alındığı görülmüştür. Pütresin ve kontrol grubunun 300 mM dozlarından elde edilen gövde ağırlıklarında istatistiki olarak önemli bir fark oluşmuştur (Tablo 1, Şekil 2). Bu nedenle yüksek tuz stresi şartlarında gövde ağırlığının pütresin uygulaması ile önemli derecede artış gösterdiği söylenebilir.

Kök ağırlığında 4,2 g/bitki ile 3,2 g/bitki arasında değerler elde edilmiştir. Pütresin ve kontrol grubunun yüksek tuz dozu uygulamasından (300 mM) elde edilen kök ağırlığı ortalamalarında istatistiki olarak önemli bir fark oluşmamıştır (Tablo 1, Şekil 2). Ancak istatistiki olarak fark yansımada da yüksek tuz stresi şartlarında kök ağırlığının pütresin uygulaması ile artış gösterdiği görülmüştür.

Yaprak ağırlığı değerlerinde en yüksek ortalamaya sahip uygulama kontrol/0 mM NaCl (3,2 g/bitki), en düşük ortalamaya sahip uygulama ise kontrol/300 mM NaCl (1,6 g/bitki) olmuştur. Pütresin ve kontrol grubunun 300 mM dozlarından elde edilen yaprak ağırlığı ortalamalarında istatistiki olarak önemli bir fark oluşmuştur (Tablo 1, Şekil 2). Bu sonuç ile pütresin uygulamasının yüksek tuz stresi şartlarında yaprak verimini önemli derecede artırdığı tespit edilmiştir.

Yaprak sayısında en yüksek ortalama değer 10,3 adet/bitki ile pütresin/0 mM NaCl uygulamasından, en düşük ortalama değer ise 7,7 adet/bitki ile kontrol/300 mM NaCl uygulamasından elde edilmiştir. Pütresin ve kontrol grubunun 300 mM dozlarından elde edilen kök ağırlığı ortalamalarında istatistiki olarak önemli bir fark oluşmuştur (Tablo 1, Şekil 2). Bu sonuç ile pütresin uygulamasının yüksek tuz stresi şartlarında yaprak sayısını önemli derecede artırdığı belirlenmiştir.

Poliaminlerin eksojen uygulamalarının çeşitli abiyotik streslere karşı olumlu etkileri daha önceki birçok çalışmada rapor edilmiştir (Sharma, 1999; Sheokand vd., 2008; Abd Elbar, 2019). Bu çalışmada da genel olarak tuz stresine karşı pütresin uygulamasının verim değerlerinde önemli farklılıklar oluşturduğu görülmüştür. Kontrol grubunun yüksek dozda (300 mM) tuz stresine maruz bırakılan bitkilerinin yapraklarındaki sararma başlangıcı (Şekil 1) ilerleyen vejetasyon dönemlerinde yer fıstığı verim değerleri bakımından daha kötü sonuçlar oluşacağına işaret etmektedir. Diğer taraftan aynı dozu alan pütresinli bitkilerde gözle görülür derecede herhangi bir sararma oluşmamıştır. Bu sebeple pütresin uygulamasının yer fıstığının gelişimini engelleyen tuz stresine karşı verim değerleri bakımından iyi bir alternatif uygulama olabileceği düşünülmektedir.

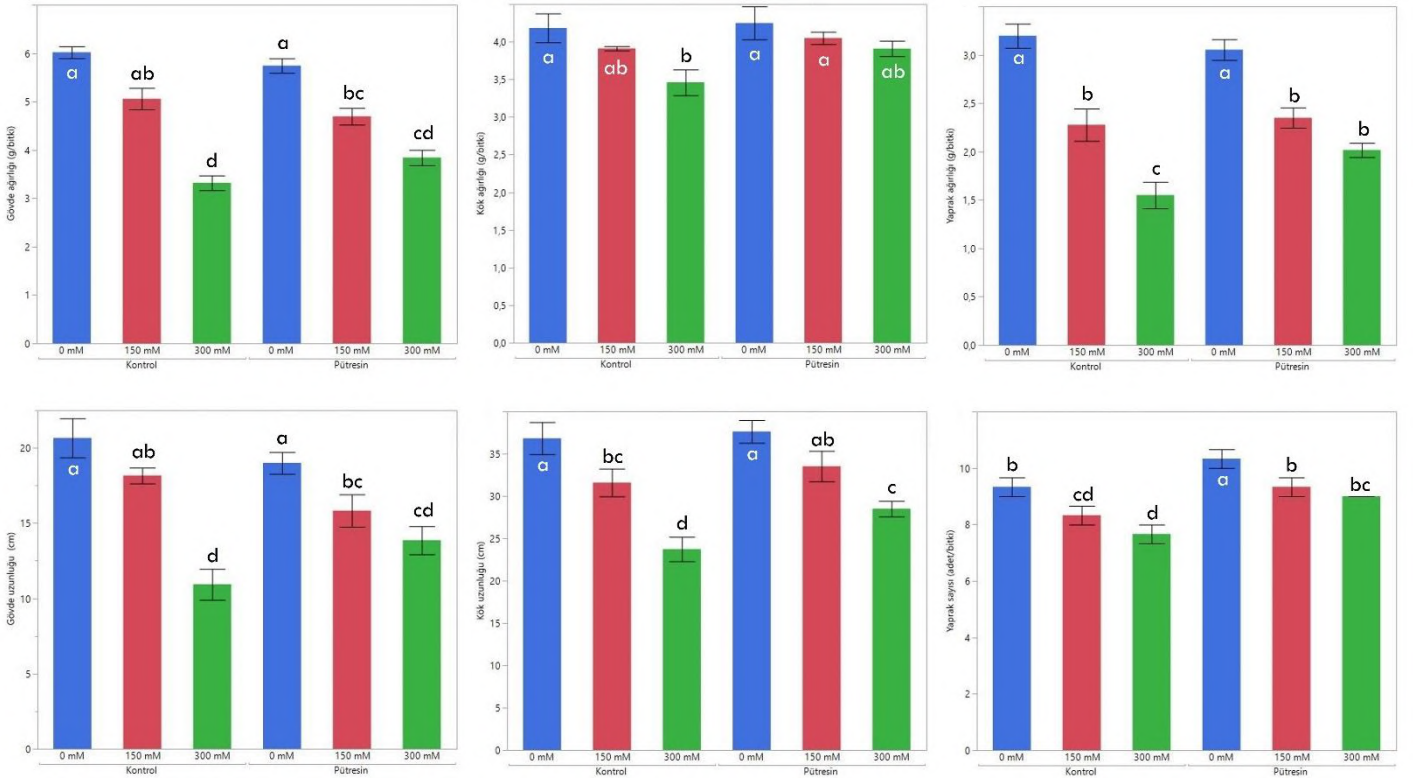
Tablo 1. Denemede elde edilen fiziksel özellik ve klorofil miktarı sonuçları

Analizler/ Uygulamalar	GU (cm)	GA (g/bitki)	KU (cm)	KA (g/bitki)	YS (adet/bitki)	YA (g/bitki)	KM (spad)
K / 0 mM NaCl	20.6 a	6.0 a	36.8 a	4.2 a	9.3 b	3.2 a	56.4 bc
K / 150 mM NaCl	18.2 ab	5.1 b	31.6 bc	3.9 ab	8.3 cd	2.3 b	54.6 cd
K / 300 mM NaCl	10.9 d	3.3 d	23.7 d	3.5 b	7.7 d	1.6 c	51.4 d
P / 0 mM NaCl	19.0 a	5.7 a	37.6 a	4.3 a	10.3 a	3.1 a	62.8 a
P / 150 mM NaCl	15.8 bc	4.7 b	33.5 ab	4.1 a	9.3 b	2.4 b	59.6 ab
P / 300 mM NaCl	13.9 cd	3.8 c	28.5 c	3.9 ab	9 bc	2.0 b	56.3 bc

K: Kontrol, P: Pütresin, GU: gövde uzunluğu, GA: gövde ağırlığı, KU: kök uzunluğu, KA: kök ağırlığı, YS: yaprak sayısı, YA: yaprak ağırlığı, KM: klorofil miktarı



Şekil 1. İklim odasında yetiştirilen bitkiler (K0: Pütresinsiz 0 mM NaCl K1: Pütresinsiz 150 mM NaCl K2: Pütresinsiz 300 mM NaCl P0: Pütresinli 0 mM NaCl P1: Pütresinli 150 mM NaCl P2: Pütresinli 300 mM NaCl)



Şekil 2. Denemede elde edilen fiziksel analiz bulguları

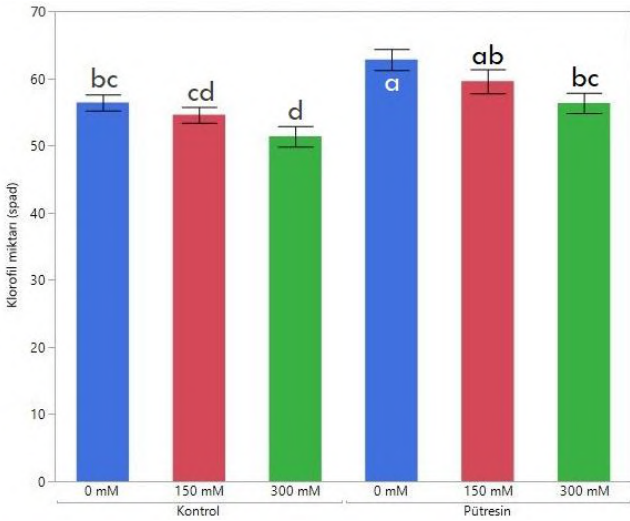
### 3.2. Klorofil miktarı

Klorofil miktarında en yüksek ortalama değer 62,8 spad ile pütresin/0 mM NaCl uygulamasından, en düşük ortalama değer ise 51,4 spad ile kontrol/300 mM NaCl uygulamasından elde edilmiştir. Pütresin ve kontrol grubunun 300 mM dozlarından elde edilen gövde uzunluklarında istatistiki olarak önemli bir fark oluşmuştur. Bu sonuç ile pütresin uygulamasının yüksek tuz stresi koşullarında yetişen yer fıstığı bitkisinin klorofil miktarını önemli derecede artırılabilceği tespit edilmiştir (Tablo 1, Şekil 3).

Pütresinli ve pütresinsiz 300 mM tuz dozu uygulamalarındaki bitkilerin yaprak uçlarında sararma başlangıcı görülmektedir (Şekil 1). Bu bitkilerin ileri vejetasyon dönemlerini nasıl atlatacağı konusu erken fide döneminde hasat

edilmelerinden dolayı belirsiz olmakla birlikte sararma başlangıcının olması verime yönelik gelişim gösteremeyeceğini düşündürmektedir. Klorofil içeriğinin yüksek olması bitkinin fazla fotosentez kapasitesine ve dolayısıyla daha yüksek verime sahip olacağını göstermektedir (Kızılgöç vd., 2017). Literatürde klorofil miktarının verim değerleri ile paralellik gösterdiği birçok çalışma bulunmaktadır (Boggs vd., 2003; Maiti vd., 2004; Ghimire vd., 2015; Kandel vd., 2020). Bu çalışmanın değerleri de literatür ile paralellik göstermektedir.





Şekil 3. Denemede elde edilen klorofil miktarı bulguları

#### 4. Sonuç

Putresin uygulamasının tuz stresi altında yetişen yer fıstığı bitkisi için olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda uygulama ve gözlem süresinin artırılması ve farklı uygulama metotlarının denenmesi ile fiziksel analizlerde daha net sonuçların alınması sağlanabilir. Çalışma sonuçlarının yer fıstığı bitkisinin tuz stresine karşı dayanıklılığının değerlendirilmesi açısından iyi bir örnek olacaktır.

#### 5. Teşekkür

Tohum teminini sağlayan ProGen şirketinden Dr. Halil Bakal'a ve çalışmanın istatistiksel analizleri ile grafiklerinde yardımları olan Dr. Emrah Güler'e şükranlarımı sunarım.

#### Kaynakça

Abd Elbar, O.H., Farag, R.E., & Shehata, S. A. (2019). Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2), 129-137.

Alcázar, R., Bueno, M., & Tiburcio, A.F. (2020). Polyamines: Small amines with large effects on plant abiotic stress tolerance. *Cells*, 9(11), 2373.

Aziz, A., Martin-Tanguy, J., & Larher, F. (1999). Salt stress-induced proline accumulation and changes in tyramine and polyamine levels are linked to ionic adjustment in tomato leaf discs. *Plant Science*, 145(2), 83-91.

Bais, H.P., & Ravishankar, G.A. (2002). Role of polyamines in the ontogeny of plants and their biotechnological applications. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 69(1), 1-34.

Bartels, D. (2001). Targeting detoxification pathways: an efficient approach to obtain plants with multiple stress tolerance. *Trends Plant Sci*, 6: 284-286.

Benjamin, J.G., & Nielsen, D.C. (2006). Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea. *Field Crops Res*, 97: 248-253.

Bennett, S.J., Barrett-Lennard, E.G., & Colmer, T.D. (2009). Salinity and waterlogging as constraints to saltland pasture production: a review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129, 349-360.

Bhatnagar-Mathur, P., Devi, M.J., Vadez, V., & Sharma, K.K. (2009). Differential antioxidative responses in transgenic peanut bear no relationship to their superior transpiration efficiency under drought stress. *J Plant Physiol* 166: 1207-1217.

Bhatnagar-Mathur, P., Rao, J.S., Vadez, V., Dumbala, S.R., Rathore, A., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Sharma, K.K. (2014). Transgenic peanut overexpressing the DREB1A transcription factor has higher yields under drought stress. *Molecular Breeding*, 33(2), 327-340.

Boggs, J.L., Tsegaye, T.D., Coleman, T.L., Reddy, K.C., & Fahsi, A. (2003). Relationship between hyperspectral reflectance, soil nitrate-nitrogen, cotton leaf chlorophyll, and cotton yield: a step toward precision agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22(3), 5-16.

Caliskan, S., Caliskan, M. E., & Arslan, M. (2008). Genotypic differences for reproductive growth, yield, and yield components in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(5), 415-424.

Carter, J.L., Colmer, T.D., Veneklaas, E.J. (2006). Variable tolerance of wetland tree species to combined salinity and waterlogging is related to regulation of ion uptake and production of organic solutes. *New Phytologist*, 169, 123-134.

Chen, D., Shao, Q., Yin, L., Younis, A., & Zheng, B. (2019). Polyamine function in plants: metabolism, regulation on development, and roles in abiotic stress responses. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1945.

Estaji, A., Roosta, H.R., Rezaei, S.A., Hosseini, S.S., & Niknam, F. (2018). Morphological, physiological and phytochemical response of different *Satureja hortensis* L. accessions to salinity in a greenhouse experiment. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 10, 25-33.

Farooq, M., Wahid, A., & Lee, D.J. (2009). Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31(5), 937-945.

Farsaraei, S., Mehdizadeh, L., & Moghaddam, M. (2021). Seed Priming with Putrescine Alleviated Salinity Stress During Germination and Seedling Growth of Medicinal Pumpkin. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-11.

Food and Agriculture Organization (2021, 19 Ekim) Erişim adresi <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

Ghassemi F., Jakeman A.J., Nix H.A. (1995) Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies. CAB international, Walloungford, UK

Ghimire, B., Timsina, D., & Nepal, J. (2015). Analysis of chlorophyll content and its correlation with yield attributing traits on early varieties of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Maize Research and Development*, 1(1), 134-145.

Gulluoglu, L., Bakal, H., Onat, B., El Sabagh, A., & Arioglu, H. (2016). Characterization of peanut (*Arachis hypogaea* L.)



- seed oil and fatty acids composition under different growing season under Mediterranean environment. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 4(5S), 564-571.
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., & Kanae, S. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature climate change*, 3(9), 816-821.
- Kandel, B.P. (2020). Spad value varies with age and leaf of maize plant and its relationship with grain yield. *BMC Research Notes*, 13(1), 1-4.
- Kızılgöçü, F., Akıncı, C., Albayrak, Ö., & Yıldırım, M. (2017). Triticale hatlarında bazı fizyolojik parametrelerin verim ve kalite özellikleriyle ilişkilerinin belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 7(1), 337-344.
- Kurt, C., Bakal, H., Gulluoglu, L., & Arioglu, H. (2017). The effect of twin row planting pattern and plant population on yield and yield components of peanut (*Arachis hypogaea* L.) at main crop planting in Cukurova region of Turkey. *Turkish Journal of Field Crops*, 22(1), 24-31.
- Maathuis, F.J.M., Ahmad, I., & Patishtan, J. (2014) Regulation of Na<sup>+</sup> fluxes in plants. *Front Plant Sci* 5:467–477. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00467>.
- Maiti, D., Das, D. K., Karak, T., & Banerjee, M. (2004). Management of nitrogen through the use of leaf color chart (LCC) and soil plant analysis development (SPAD) or chlorophyll meter in rice under irrigated ecosystem. *The Scientific World Journal*, 4, 838-846.
- Martin J., Fackler P.L., Nichols J.D., Lubow B.C., Eaton M.J., Runge M.C., Stith B.M., & Langtimm C.A. (2011) Structured decision making as a proactive approach to dealing with sea level rise in Florida. *Climatic Change*, 107, 185– 202.
- Pál, M., Szalai, G., & Janda, T. (2015). Speculation: polyamines are important in abiotic stress signaling. *Plant Science*, 237, 16-23.
- Parvin, S., Lee, O.R., Sathiyaraj, G., Khorolragchaa, A., Kim, Y. J., & Yang, D.C. (2014). Spermidine alleviates the growth of saline-stressed ginseng seedlings through antioxidative defense system. *Gene*, 537(1), 70-78.
- Sarkar, T., Thankappan, R., Kumar, A., Mishra, G.P., & Dobarra, J.R. (2014). Heterologous expression of the AtDREB1A gene in transgenic peanut-conferred tolerance to drought and salinity stresses. *PLoS One*, 9(12), e110507.
- Sharma, M.L. (1999). Polyamine metabolism under abiotic stress in higher plants: salinity, drought and high temperature. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 5, 103-113.
- Sheokand, S., Kumari, A., & Sawhney, V. (2008). Effect of nitric oxide and putrescine on antioxidative responses under NaCl stress in chickpea plants. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 14(4), 355-362.
- Shoba, D., Manivannan, N., Vindhivarman, P., Nigam, S.N. (2012). SSR markers associated for late leaf spot disease resistance by bulked segregant analysis in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Euphytica* 188: 265–272.
- Yılmaz, A., Yılmaz, H., Arslan, Y., Çiftçi, V., & Baloch, F.S. (2021). Ülkemizde Alternatif Yağ Bitkilerinin Durumu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (22), 93-100.
- Zhang, J.L., & Shi, H. (2013) Physiological and molecular mechanisms of plant salt tolerance. *Photosynth Res* 115(1):1–22.



# Ekşi karadutun (*Morus nigra* L.) Türkiye’de yetiştiricilik kültürü ve alanları: Asırlık ağaçların keşfi

Kahraman Gürcan

Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Genom ve Kök Hücre Merkezi, Talas, Kayseri, Turkey, (0000-0002-2120-2563),  
[kgurcan@erciyes.edu.tr](mailto:kgurcan@erciyes.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 25 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 12 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1014243)

**ATIF/REFERENCE:** Gürcan, K. (2021). Cultivation and production of sour black mulberry (*Morus nigra* L.) in Turkey: discovery of monumental trees. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 568-582.

## Öz

Ekşi karadut (*Morus nigra* L.) zeytin gibi çok uzun yıllar yaşar ve kapalı tohumlu bitkiler içinde en yüksek kromozom sayısına sahip bitki türüdür. Önemli ekonomik potansiyele sahip tıbbi aromatik bir tür olmasına rağmen modern bahçeciliğe entegre edilememiştir. Anavatanı olduğu düşünülen Türkiye’de yetiştiricilik kültürü ve potansiyelini belirlemek üzere 2018-2021 yıllarında ülke çapında ekşi karadut sörveyi yapılmıştır. Anıtsal nitelikte, Cumhuriyet öncesinden kalma olduğu bilinen, 200 üzerinde antik ekşi karadut ağacı tespit edilmiştir. Bu ağaçlar genetik olarak özgün olma ihtimali en yüksek popülasyonu oluşturmaktadır. En yoğun antik dut ağacı Kayseri Talas, Nevşehir, Ankara Ayaş İlçesi ve Orhanlı köyü, Erzincan Kemaliye, Eskişehir, Bitlis Ahlat ve Adilcevaz ilçeleri, Çankırı Gölez köyünde gözlenmiştir. Meyve üretimin en fazla yapıldığı bölgeler ise Kahramanmaraş Ilica, Adıyaman Besni, Niğde Çiftehane, İzmir Canbazlı köyü olarak tespit edilmiştir. Dört adet antik bahçe görülmüştür. Web sayfası kurularak tarihi ekşi karadutun fotoğraf ve videoları paylaşılmıştır. Tüm ağaçların monoik olduğu belirlenmiş, erkek ağaç görülmemiştir. Bu durum Anadolu’nun ekşi karadutun anavatanı olma ihtimalini zayıflatmaktadır. Meyve derim zamanının 8-10 hafta olduğu görülmüştür. Yaygın bilginin aksine ekşi karadut hastalık ve zararlılara hassas bir tür olduğu tespit edilmiştir. Verimi, hastalık ve zararlılara dayanıklılık durumu bilinen çeşit veya çeşitlerin mevcut olmadığı, çoğaltımın yerel fidancılar tarafından lokal ağaçlardan göz alınarak gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. A) Meyvelerinin raf ömrünün kısa olması, B) meyvelerin daldan kopma gücü ekşi karadutun kapama bahçeciliğe entegrasyonu önündeki önemli problemler olarak tespit edilmiştir. İslah çalışmaları ile bu iki karakterde iyileştirme sağlanması gerekmektedir. Güvenilir çoğaltım yöntemlerinin mevcut olmadığı gözlenmiştir. Asırlık ağaçlar genetik ve kültürel miras niteliğinde olup anıt ağaç olarak tescillenmeleri ve koruma altına alınmaları gerekmektedir. Az da olsa Türkiye’nin her bölgesine bu dutun yetişiyor olması, tüketicinin ve yetiştiricinin ekşi karaduta verdiği yüksek değer, ekşi karadut kapama bahçeciliği açısından Türkiye’nin yüksek potansiyeli olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Anıtsal ağaç, Dut, Genetik kaynaklar, Moraceae, Üzümsü Meyve.

## Cultivation and production of sour black mulberry (*Morus nigra*) in Turkey: discovery of monumental trees

### Abstract

Sour black mulberry (*Morus nigra* L.) lives for many years like olives and is known to possess the highest known chromosome number among plant species. Although it is a medicinal aromatic mulberry species with significant economic potential, sour black mulberry is not integrated to modern production system. Sour black mulberry survey was conducted throughout Turkey in 2018-2021 to reveal its potential and cultivation culture in Turkey which is considered as genetic diversity center. More than 200 ancient sour black mulberry trees, known to be from the pre-Republican era, have been identified. The densest ancient mulberry tree was observed in Kayseri Talas, Nevşehir, Ayaş and Orhanlı in Ankara, Erzincan Kemaliye in Erzincan, Eskişehir, Ahlat and Adilcevaz in Bitlis, Gölez village of Çankırı. The regions with the highest fruit production were determined as Ilica in Kahramanmaraş, Besni in Adıyaman, Çiftehane in Niğde, and Canbazlı village in İzmir. Four antic orchards were observed. It was determined that all trees were monoic, and no male trees were observed. This situation weakens the possibility of Anatolia being the diversity center of sour black mulberry. Contrary to common knowledge, sour black mulberry is a sensitive species to diseases and pests. There are no cultivar(s) with known yield, disease and pest resistance, and the propagation is carried out by local nurseries from the local trees. A) The short shelf life of the fruits, B) the difficulty of breaking off the fruit from the branch are the important problems in the integration of sour black mulberry into horticulture production system, and these two characteristics have therefore been determined as the primary breeding issue in sour black mulberry. Reliable reproduction methods do not exist and need to be developed. Centennial trees are genetic and cultural heritage and must be registered as monumental trees and taken under protection. The fact that this mulberry is grown in every region of Turkey, albeit a little, and the high value that consumers and growers give to sour black mulberry shows that Turkey has a high potential in terms of sour black mulberry cover gardening.

**Keywords:** Berry fruits, Genetic resources, Moraceae, Monumental trees.

## 1. Giriş

Ekşi karadut (*Morus nigra* L.) *Morus* cinsi altında yer alan 10-16 dut türünden biridir (Vijayan vd., 2006). Ekşi karadutun Anadolu'da varlığı diğer dutların çok daha öncesine dayanır. İlginç bir şekilde klasik Avrupa tarihinde, Avrupa'ya *M. alba* girmeden önce, ipek böcekçiliğinde ekşi karadut kullanıldığını belirten kaynaklar mevcuttur (Vivarelli & Alvisi, 1934; CABI, 2019). Ekşi karadutun Anadolu'ya ve Avrupa'ya Roma döneminde yayıldığı düşünüldüğü gibi, Yunan-Roma döneminden önce girmiş olduğunu savunan kaynaklar da mevcuttur (Aubaile, 2012). İran ve Anadolu'da, İpek Yol'u ticaretinden önce ekşi karadut türünün olduğu antik Yunan ve Roma kayıtlarından bilinmektedir (Grieve, 1931; Aubaille, 2012). Ana vatani için İran, Anadolu ve Kafkasya (Grieve, 1931; CABI, 2019); Güney Batı Asya (Wiersema et al. 1999; CABI, 2019) veya Orta Asya (Campbell, 1949; Aubaille, 2012) diyen kaynaklar mevcuttur. Ancak Anadolu ve İran'da ekşi karadutun yabanisi olduğuna dair veri bulunmadığı için, Türkiye ve İran'ın ekşi karadutun ana vatani olduğu hipotezi ispatlanamamıştır (Browicz, 2001). Yunan yazar Theophrastus (MÖ 370-285) tarafından ekşi karadut bilinmez iken, Dioscorides'in (MS 40-90) bu türü bildiği ve *moron* olarak adlandırdığını rapor etmiştir (Aubaile, 2012). Latinlerin de bu türü yetiştirdikleri ve *Morus* ismini verdikleri bilinir. MS 3. YY'da Fayyum'un arşivlerinde de ekşi karadutun bahsi geçmektedir (André, 1985; Newton, 2005; Aubaille, 2012).

Ekşi karadut bazı özellikleri ile benzersizdir. 1) Meyveleri çok sevilir, sultanların meyvesi olarak bilinir. Bu türün meyvesini yiyenler başka hiçbir türde bu tadı bulamadıklarını söylerler 2) Bu tür, bilinen en yüksek kromozom sayısı (dekosaploidi,  $2n = 22x = 308$ ) ile çiçekli bitkiler arasında benzersiz bir konuma sahiptir (Basavaiah vd., 1990). 3) Ekşi karadut, zeytin gibi çok uzun ömürlü bir ağaç türüdür ve 1930'larda İngiltere'de yetişen en eski ağacın 1548'de dikildiği belirtilmiştir (Grieve, 1931; CABI, 2019). 4) Dış faktörlere göre cinsiyet değiştiren nadir bitkilerden biridir (Jaiswal and Kumar, 1980). 5) Meyve derim dönemi 8-10 hafta olup diğer meyvelere göre oldukça uzun bir dönemi kapsamaktadır.

Yapılan çalışmalar ekşi karadutun da dâhil olduğu dut türlerinin insan yaşam kalitesine katkısının yüksek olduğunu göstermektedir. Ekşi karadutun meyveleri, yüksek polifenol, flavonoid ve antosiyanin içeriği nedeniyle yüksek biyoaktiviteye sahiptir (Sánchez-Salcedo vd., 2015, Akin vd., 2016; Barat vd., 2016; Cui vd., 2020; Erden, 2021; Ersus vd., 2021; İslam vd., 2020). Meyveleri yüzlerce yıldır başta ağız yaraları olmak üzere birçok hastalığın tedavisinde kullanılmaktadır. Lim vd. (2019) ekşi karadut üzerine yaptıkları derleme çalışmada 130 civarında çalışmaya atıfta bulunarak ekşi karadutun antinosiseptif, anti-inflamatuar, antimikrobiyal, anti-melanojenik, antidiyabetik, anti-obezite, anti-hiperlipidemik ve antikanser aktivitelerini anlatmışlardır.

Türkiye'de dutların karakterizasyonu ve değerlendirilmesi üzerine çalışmalar mevcuttur. Ekşi karadut üzerine yapılan en kapsamlı çalışma TUBİTAK TOVAG destekli 106O102 kodlu projedir (Özgen vd., 2008). Bu çalışmada 11 ilden (Adana, Amasya, Antakya, Elâzığ, Erzincan, Erzurum, Gaziantep, Giresun, Kahramanmaraş, Malatya ve Tokat) 76 adet ekşi karadut belirlenmiş, bunlardan 31 âdeti AFLP markörler ile çalışmıştır (Kafkas vd., 2008). Koyuncu vd. (2004) Göller bölgesi ekşi karadutlarını; İslam vd. (2006) Giresun ili Şebinkarahisar ilçesinde yetiştirilen 12 adet dut ağacını; Erdoğan ve Çakmakçı

(2006) 11 mor dut, 16 adedi beyaz dut ve 2 adet siyah dutu; Ercişli ve Orhan (2008) Erzurum İspir; Yılmaz vd. (2012) farklı bölgelerden seçilmiş dutları; Okatan vd. (2016) Bitlis ekşi karadutlarını; Balık vd. (2019) Muş dutlarını; Sümerli ve Kazankaya (2020) Batman ili dutlarını, Can vd. (2021) Van gölü civarındaki dutları çalışmışlardır.



Şekil 1. Ekşi karadut meyvesi.

Türkiye'de ekşi karadutun fenolik içerik, besin bileşenleri, antioksidan aktivite ve kimyasal özellikleri (Elmacı ve Altuğ, 2002, Ercişli ve Orhan, 2008; Özgen vd., 2009; Ercişli vd., 2010; Kara ve Erçelebi, 2013; Koyuncu vd., 2004; Kutlu vd., 2011; Sánchez-Salcedo vd., 2014; Okatan vd., 2016; Balık vd. 2019), morfolojik ve pomolojik karakterizasyonu (Koyuncu vd., 2004, Özgen vd., 2009; Yılmaz vd., 2012; Sümerli ve Kazankaya, 2020) birçok kez çalışılmıştır. Bu çalışmaların hepsi farklı koşullarda yetişen çeşit olmayan doğal popülasyonda gerçekleştirilmiştir. Bitki materyali klonlardan oluşan tek çalışma Kahramanmaraş koşullarında gerçekleştirilmiştir (Sütyemez, 2021)

Maalesef, ekşi karadut çok beğenilmesine ve sağlıklı bir gıda olmasına rağmen kapama bahçe üretimi mevcut değildir. Çeşit geliştirilmemiş ve meyve yetiştiricilik teknik ve pratikleri çalışılmamıştır. Dutlar son yüzyıla kadar çok tüketilen meyvelerden iken, son yüzyılda modern tarıma entegre edilemediği için üretimi düşmüştür. Bununla beraber, Türkiye'de beyaz-mor-siyah renklerinde meyveleri olan *M. alba* dut türünün yaygın olduğu bilinmektedir. Fakat ekşi karadutun Türkiye'de ki potansiyeli bilinmemektedir. Yerel gazete haberlerine sık sık asırlık ekşi karadut ağacı haber olmaktadır. Ekşi karadut hem Türkiye'de hem dünyada gizemli bir türdür. Yetiştiriciliği üzerine bilgi kısıtlıdır. Çalışmalar ipek böcekçiliğinde kullanılan diğer dutlara yoğunlaşmıştır. Ekşi karadutun genetik çeşitlilik merkezi olduğu düşünülen Anadolu'da sörvey çalışması önem arz etmektedir. Bu nedenlerle, bu çalışmada Türkiye ekşi karadut gen kaynaklarının mevcudiyeti araştırılmış, ekşi karadutun yetiştiricilik alanları ve kültürü üzerine bilgi toplanması



hedeflenmiş, kapama bahçe tarımına entegrasyonunda ana problemler araştırılmıştır. Aşı ile çoğaltılan ağaçlar klon oldukları için çalışmada Türkiye özgün genotip olma ihtimali yüksek olan asırlık ağaçlar araştırılmıştır. Doğal popülasyonlarda ekşi karaduttun gıda, pomolojik ve fenolojik özellikleri hâlihazırda iyi çalışıldığı ve bilindiği için, ayrıca çeşit geliştirilmeden benzeri özelliklerin çalışılması tekrara düşeceği için bu çalışma kapsamına alınmamıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Sörvey çalışması

Türkiye’de ekşi karadut yetiştiriciliği yapılan bölgeleri belirlemek için 2018-2021 yılları arasında a) Tarım Bakanlığı il ve ilçe teşkilatları ile temasa geçilerek b) ekşi karadut üzerine proje ve yayınlar taranarak c) yerel haber kaynakları internet üzerinden taranarak, ekşi karadut ağaçları ve yetiştiricilik yapılan bölgeler araştırılmıştır. Ekşi karadut ağaçlarının bulunduğu lokasyonlar belirlendikten sonra, 14 000 km yol kat edilmiş, Türkiye’nin birçok bölgesi ziyaret edilmiş ev sahipleri, köy veya mahalle sakinleri ile görüşülmüş, ağaçlar hakkında bilgi toplanmıştır (Şekil 2.). Kayseri ve Nevşehir’de ekşi karadut ağaçları her yıl ve yıl içerisinde birçok kez ziyaret edilmiş, ağaçlar sürekli gözlenmiştir. Adana, Mersin, Hatay, Niğde Çiftahan, Kahramanmaraş İlica ilçeleri 3 yıl çiçeklenme, meyve toplanma zamanı ve sonbaharda birer kez kontrol edilmiştir. Diğer bölgelerdeki ekşi karadut ağaçları ise en az bir kez meyve döneminde ziyaret edilmiştir. Kayseri dışındaki bölgelerde bir bölgeden maksimum 4 asırlık ekşi karadut ağacı gözlenmiş, Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System- GPS) koordinasyonları alınmıştır.

### 2.2. Ağaçlarda yaş tahmini

Ekşi karadut ağaçlarında yaş tahmini üzerine bilimsel bir dendrokronolojik çalışma mevcut değildir. Zeytin ağaçlarında ağaç yaşı tahmini sıklıkla dini mitoloji, antik kent ve kale vb. yapıların tarihi ile ilişkilendirilerek yapılmaktadır (Ismaili ve Veshaj, 2014). Bu nedenle bu çalışmada da Türkiye’de ki asırlık ekşi karadut ağaçlarının yaşını öğrenmek için ağacın dikim tarihi, türbeler, cumhuriyet öncesi inşa edilmiş taş evler ile ilişkilendirilerek, ev sahibi ve bölgenin yaşlıları ile görüşülerek belirlenmeye çalışılmıştır.

### 2.3. Hastalık ve zararlıların belirlenmesi

Ekşi karadut ağaçlarındaki hastalık ve zararlar survey sırasında ağaçlar incelenerek belirlenmiştir. Özellikle yapraklar meyvelerde anormal durumlar ve kurumalar gözlenmiştir. Ayrıca bahçe sahipleri ile konuşularak bilgi toplanmıştır.

### 2.4. Cinsiyetin belirlenmesi

Dut türlerinin erkek, dişi, monoik veya hermafrodit olabildikleri rapor edilmiştir (Jaiswal ve Kumar, 1980; Tikader vd., 1995). Çiçek dönemi ve meyve dönemi ağaçlar gözlenmiş, çiçek döneminde sadece dişi çiçek, sadece erkek çiçek, hem dişi hem de erkek çiçek oluşturma durumları belirlenmiştir. Meyve döneminde meyve veren veya vermeyen ağaçlar tespit edilmiştir. Çiçek döneminde gözlenemeyen ağaçlarda dişi çiçek olup olmadığı meyve veriminden anlaşılırken, erkek çiçek olup olmadığı bahçe sahipleri ile konuşularak öğrenilmiştir. Hermafrodit ağaçların belirlenmesi uzun yıllar gerektireceği için bu çalışma kapsamında ağaçların hermafrodit olup olmadıkları üzerine bilgi toplanmamıştır.

### 2.5. Çoğaltım metodunun belirlenmesi

Ekşi karadutta aşı ile çoğaltım durumu aşı yeri tespit edilerek belirlenmiştir. Bazı durumlarda anaçtan çıkan dip sürgünleri de çoğaltım yöntemini belirlemede kullanılmıştır. Aşı yeri olmayan kendi kökü üzerinde yetişen ağaçlar ayrıca kaydedilmiştir. Yetiştiriciler ile konuşularak da çoğaltım yöntemleri teyit edilme yoluna gidilmiştir.

### 2.6. Islah karakterlerinin belirlenmesi

Ekşi karadutta ıslah kriterleri oluşturulmamıştır. Sörvey boyunca yetiştiricilerle konuşulmuş, ekşi karadut meyveciliği ve meyve pazarlanması önündeki engeller tartışılmıştır. Diğer meyve türlerindeki ıslahı karakterleri (Janick, 2005; Badenes ve Byrne, 2012) çalışılarak, ekşi karaduttun yetiştiriciliği için öncelikli ıslah konuları belirlenmiştir.

### 2.7. Meyve derim süresinin belirlenmesi

İlk siyah meyvelerin oluşup, meyvelerin toplanmaya başladığı zaman derim başlangıcı olarak kabul edilmiş, ağaçta meyve toplanmasının durulduğu zaman ise derim sonu olarak kabul edilmiştir. Adana, Mersin, Hatay, Kayseri, Nevşehir, Niğde Çiftahan, Kahramanmaraş’da bulunan ağaçlar takip edilmiştir. Diğer bölgelerdeki ağaçlarda derim zamanı ise ev sahipleri ve bölgedeki yaşlı insanlarla konuşularak gözlenmiştir.





Şekil 2. Türkiye'nin ekşi karadut yoğunluk haritası.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

#### 3.1. Asırlık ekşi karadut ağaçlarının keşfi

TUBİTAK TOVAG destekli 106O102 kodlu projede (Özgen vd., 2008) belirlenen 71 adet ekşi karadut ağacının 55 adetine ulaşılmıştır. Proje sonuç raporunda verilen GPS kordinatları takip edilerek projede çalışılan 11 ilin 6 adetinde (Amasya, Erzincan, Elâzığ, Erzurum, Giresun, Malatya) yer alan tüm ağaçlara ulaşılmış, 5 ilde ağaçların 16 adeti bulunamamıştır.

İnternet üzerinden ekşi karadut haberleri taranmış birçok asırlık ekşi karadut ağacına ulaşılmıştır. Amasya Nurettin Alpaslan Türbesi (Anonymous, 2012), Ankara Ayaş (Anonymous, 2019, 2021), Batman Hasankey (Anonymous, 2016), Bitlis Ahlat (Anonymous, 2017a.), Eskişehir Şeyh Sücaeddin-i Veli Külliyesi (Anonymous, 2018), Çankırı Eldivan Gölez köyü (Anonymous, 2020), İzmir Tire Cambazlı köyü (Anonymous, 2014a), Konya Seydişehir (Anonymous, 2014b), Kütahya Emet (Anonymous, 2010a), Manisa Büyükbelen Çal dağı (Anonymous, 2013a), Nevşehir Cemal köyü (Anonymous, 2015), Nevşehir Hacı Bektaş Veli Türbesi (Anonymous, 2013b), Niğde Bor (Anonymous, 2014c), Sivas Susehir (Anonymous, 2010b), Siirt Sinep köyü (Anonymous, 2017b), Yozgat Çekerek Kurtağılı köyü (Anonymous, 2017c) anıtsal ekşi karadut ağaçlarına internet haberleri takip edilerek ulaşılmıştır.

106O102 kodlu TOVAG proje sonuç raporu, üst paragrafta belirtilen internet haberleri ve yerel tarım teşkilatları ile görüşmeler sonucunda 250'den fazla antik ağaca ulaşılmıştır. Çizelge 1 ve 3.'de 222 adetinin GPS kordinatları verilmiştir. Şekil 3-14.'de asırlık ekşi karadut ağaçlarından 30'unun fotoğrafları görülmektedir. Sörvey sırasında toplanan bilgiler, fotoğraf ve videolar <http://www.lifosbio.com/sehir-sehir-eksikara/> web sayfasına paylaşılmıştır. Kayseri dışında her bölgeden en fazla 4 adet ağaç incelenmiş olduğu için GPS koordinasyonu alınan ekşi karadut sayısı sörvey sırasında görülen

ağaç sayısından az olmuştur. Örneğin Ankara Kahramankazan Orhanlı köyünde 20 civarında cumhuriyet öncesinde dikilen ağaç mevcuttur, keza Erzincan Kemaliye, Malatya Darendede, İzmir Tire Cambazlı'da da durum aynıdır. Bu ağaçların hepsinin yaşı 100'ün üzerindedir. Sörvey sırasında karşılaşılan ağaçların hepsinin GPS koordinasyonları alınmamıştır. Şekil 2.'de sörvey sırasında elde edilen sonuçlar göz önünde tutularak asırlık ekşi karadutların yoğun olduğu bölgeler ve yetiştiricilik yapılan bölgeler Türkiye haritası üzerinde gösterilmiştir. Keşfedilen asırlık ekşi karadut ağaçları özgün genotip olma ihtimali en yüksek popülasyonu oluşturmaktadır. Sörveylerde genç ağaçların aşı ile genelde bu ağaçlardan çoğaltıldığı gözlenmiştir. Aynı şehirdeki asırlık ağaçların birbirleri ile olan ve farklı şehirlerdeki asırlık ağaçlar ile olan genetik ilişkileri ise bilinmemektedir.

Ekşi karadutların büyük çoğunluğu tarihi kasaba ve yerleşim bölgelerinde tespit edilmiştir. Ayaş konakları, Hasankeyf, Elazığın Harput'u, Pötürge'nin toprak evleri, Tokat ve Amasya'nın Osmanlı'dan kalan mahalleleri, Konya'nın Akşehir, Beyşehir'inde tarihi konak bahçeleri, Nevşehir ve Kayseri'nin Cumhuriyet öncesinden kalma taş evlerine ev sahipliği yapan Talas, Erkilet, Endürlük yerleşkeleri, Erzincan Eğin'in ev bahçeleri, İzmir'in Cambazlı köyü, Hatay'ın konakları tarihi ekşi karadutlara ev sahipliği yapmaktadır. Aynı şekilde türbelerde beyaz ve ekşi karadut ağaçlarının yaygın olduğu tespit edilmiştir. Türbelerde bulunan ağaçların yaşı genelde o türbenin kuruluşuna vesile olmuş evliyanın yaşadığı döneme dayandırılmaktadır. Erzincan Kemaliye Hıdır Abdal Sultan Türbesi'nde 700-800 yaşında olduğuna inanılan dutları mevcuttur (Şekil 3). Aynı şekilde 700-800 yaşında olduğu varsayılan ekşi karadut ağaçları Adıyaman Karadut köyü Seyyid Mustafa Baba, Amasya Nurettin Alpaslan, Siirt Sinep Köyünde Şeyh Saad, Eskişehir Şeyh Sücaeddin-i Veli, Çorum Tekne Dede ve Nevşehir Hacı Bektaş Veli türbelerinde bulunmaktadır (Çizelge 2).

Ekşi karadutun ilginç özelliklerinden biri çok yavaş büyümesidir. Bu nedenle, bazı ağaçlar çok gösterişli görünmese de gövdeleri çok kalın olmasa da Cumhuriyet öncesinden kalma

oldukları, bahçe sahipleri ile konuşularak teyit edilmiştir. Orman ağaçlarında yaş belirlemek için gövdedeki halkaları sayılsa da genelde halka sayımı ağaç kesildiğinde yapılabilir. Ayrıca birçok orman bitkisinde halka sayımı çeşitli nedenlerle mümkün olmamaktadır (Ricker vd., 2020). Aynı şekilde çok yaşlı ağaçlara sahip zeytin türünde halka sayısı ile ağaç yaşını belirlemek yıllık odun birikimindeki dalgalanma, ağaç halkası sınır yapısındaki değişkenlikler, ağaç kambiyal faaliyetinin çevrenin değişen faktörleri ile sınırlandırılması gibi nedenlerle mümkün olamamaktadır (Arnan vd., 2012; Cherubini vd., 2013; Ismaili ve Veshaj, 2014). Ekşi karadut türünde ise yaş tayini ile ilişkili çalışma mevcut değildir. Kayıtlar İngiltere’de bir ekşi karadutun en az 500 yıl yaşında olduğunu göstermektedir (Grieve, 1931; CABI, 2020). Bu çalışmada evliya türbelerindeki ağaçlar için yaş tahmini yapılmış fakat diğer ağaçlar için yaş tahmini yapılmamış, sadece asırlık ifadesi kullanılmıştır. Çünkü gözlenen 222 ağacın tamamı cumhuriyet öncesi dikildiği tespit edilmiştir fakat daha öncesi bilinmemektedir.



Şekil 3. Türbelerde asırlık ekşi karadut ağaçları. a) Nevşehir Hacı Bektaş Veli Türbesi, b) Eskişehir Şeyh Sücaeddin-i Veli Külliyesi.

Çizelge 1. Farklı bölgelerde görülen asırlık ekşi karadut ağaçları ve Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System- GPS) koordinatları

Şehir				Sayı
Adıyaman				3
1. ağaç	2. ağaç	3. ağaç	4. ağaç	
37°55'52.07"K 8°46'23.78"D	37°55'54.16"K 38°46'17.53"D	37°51'8.26"K 38°35'33.17"D		
Afyon				3
38°45'14.14"K 0°31'40.88"D	38°45'17.66"K 30°31'35.08"D	38°45'23.49"K 30°31'37.13"D		
Amasya *				4
Ankara/Ayaş				4
40° 0'57.74"K 32°19'54.79"D	40° 1'1.10"K 32°19'51.79"D	40° 0'53.43"K 32°19'44.72"D	40° 0'55.37"K 32°19'38.75"D	
Ankara/Beybazarı				2

40°10'23.99"K 31°55'21.72"D	40°10'5.01"K 31°55'6.54"D			
Ankara/Kahramankazan/Orhaniye**				4
40° 6'12.73"K 32°40'16.87"D				
Ankara/Kahramankazan/İnceğiz				2
40°15'55.16"K 32°46'25.50"D	40°15'51.30"K 32°46'23.39"D			
Balıkesir/Havran				1
39°33'4.16"K 27° 5'44.54"D				
Balıkesir/Edremit/Bostancı, Çıkrıkçı				2
39°33'45.34"K 27° 1'55.41"D	39°33'26.05"K 26°59'19.46"D			
Bitlis/Adilcevaz				4
38°48'43.65"K 42°43'48.06"D	38°48'30.94"K 42°44'22.74"D	38°48'25.80"K 42°44'37.70"D	38°48'22.47"K 42°45'3.57"D	
Bitlis/Ahlat				4
38°45'5.75"K 42°28'51.83"D	38°45'17.77"K 42°29'12.18"D	38°45'25.79"K 42°29'44.08"D	38°45'28.13"K 42°30'5.77"D	
Çorum/Laçın				3
40°46'28.31"K 34°52'43.65"D	40°46'27.74"K 34°52'42.56"D	40°46'27.49"K 34°53'0.01"D		
Diyarbakır				2
37°55'27.27"K 40°14'42.88"D	37°54'39.98"K 40°14'58.97"D			
Diyarbakır/Lice				1
38°28'17.25"K 40°38'31.28"D				
Edime/Eceabat				3
40°10'32.55"K 26°21'42.34"D	40°10'40.01"K 26°21'37.43"D	40°10'33.33"K 26°21'40.88"D		
Elazığ/Harpüt *				3
Erzincan/Kemaliye *				4
Erzurum *				2
Eskişehir/Zeyköy				2
39°35'53.91"K 31°29'28.91"D	39°36'13.36"K 31°29'41.84"D			
Eskişehir/Gecek Köyü				3
39°22'47.48"K 31°46'14.01"D	39°22'50.30"K 31°46'11.76"D	39°22'54.39"K 31°46'14.98"D		
Gaziantep *				2
37°23'18.13"K 37°36'36.13"D	37°26'56.87"K 37°56'4.80"D			
Giresun*				4
Hatay *				4
Isparta/Mahmatlar**				4
37°55'34.19"K 30°55'35.19"D				
Isparta/Eğirdir				3
37°52'56.29"K 30°52'1.03"D	37°53'1.79"K 30°52'6.79"D	37°49'21.60"K 30°52'26.84"D		
İstanbul				3
41° 0'46.81"K 29° 2'49.64"D	41° 0'53.49"K 29° 2'48.36"D	41° 0'55.60"K 29° 2'39.64"D		
İzmir/Tire/Cambazlı				3
38° 4'43.81"K 27°45'3.50"D	38° 4'11.07"K 27°46'4.57"D	38° 4'3.79"K 27°46'0.45"D		
Karaman-Karacadağ				2
37°48'26.32"K 33°46'26.16"D	37°50'31.47"K 33°50'23.23"D			
Kayseri/Develi				2
38°21'2.41"K 35°29'51.08"D	38°20'50.07"K 35°29'12.67"D			
Kayseri/Erkilet				12
38°49'6.00"K 35°26'50.44"D	38°49'13.10"K 35°26'53.12"D	38°49'20.63"K 35°26'57.56"D	38°49'11.84"K 35°27'17.19"D	
38°49'5.63"K 35°27'10.83"D	38°49'18.22"K 35°26'51.42"D	38°49'15.49"K 35°26'39.42"D	38°49'14.11"K 35°26'39.00"D	
38°49'2.58"K 35°26'35.92"D	38°48'56.52"K 35°26'34.76"D	38°48'32.62"K 35°26'40.27"D	38°48'27.91"K 35°26'46.52"D	



Kayseri/Merkez (Zincidere, Endürlük, Kıranardı, Eğribucak, Yılanlıdağı, Hacılar, Germir)	8
38°38'36.60"K 38°37'53.80"K 38°37'38.76"K 38°40'51.48"K 35°34'54.68"D 35°32'40.63"D 35°31'44.47"D 35°27'8.23"D	
38°41'47.40"K 38°41'51.71"K 38°38'38.96"K 38°44'5.59"K 35°24'33.74"D 35°24'15.96"D 35°27'2.05"D 35°33'56.07"D	
Kayseri/Talas	30
38°40'54.71"K 38°40'43.65"K 38°40'44.03"K 38°40'49.01"K 35°32'5.13"D 35°32'3.98"D 35°32'3.58"D 35°32'28.56"D	
38°40'49.39"K 38°40'48.05"K 38°40'46.72"K 38°40'52.15"K 35°32'27.19"D 35°32'25.57"D 35°32'24.16"D 35°32'33.87"D	
38°40'52.72"K 38°40'51.45"K 38°40'56.92"K 38°40'55.55"K 35°32'39.65"D 35°32'41.78"D 35°32'49.01"D 35°32'47.85"D	
38°40'56.50"K 38°40'57.51"K 38°40'55.04"K 38°40'55.72"K 35°33'35.63"D 35°33'36.27"D 35°33'43.38"D 35°33'44.93"D	
38°40'55.10"K 38°41'9.71"K 38°41'16.16"K 38°41'28.36"K 35°33'42.11"D 35°33'42.20"D 35°33'30.76"D 35°33'52.31"D	
38°41'18.87"K 38°41'16.86"K 38°41'14.23"K 38°41'14.54"K 35°33'49.72"D 35°33'50.63"D 35°33'53.92"D 35°34'6.44"D	
38°41'10.21"K 38°41'2.84"K 38°41'17.47"K 38°41'16.33"K 35°34'2.28"D 35°34'4.20"D 35°34'6.67"D 35°34'0.05"D	
38°41'29.59"K 38°42'58.22"K 35°34'10.05"D 35°34'41.61"D	
Kayseri/Yahyalı	1
35°22'56.62"D 38° 4'15.73"K	
Kayseri/Yeşilhisar	4
38°21'16.85"K 38°21'18.42"K 38°21'17.58"K 38°20'23.24"K 35° 5'4.06"D 35° 4'58.09"D 35° 4'54.93"D 35° 5'22.91"D	
Konya/Akşehir	4
38°21'17.07"K 38°21'14.65"K 38°21'11.98"K 38°21'17.19"K 31°24'27.82"D 31°24'36.15"D 31°24'41.66"D 31°24'39.57"D	
Konya/Beysşehir	2
37°40'43.21"K 37°40'36.72"K 31°44'7.65"D 31°43'58.72"D	
Konya/Seydişehir	4
37°25'45.46"K 37°25'36.75"K 37°25'41.71"K 37°25'46.67"K 31°50'12.89"D 31°50'31.20"D 31°50'15.26"D 31°50'9.79"D	
Kütahya/Emet	1
39°20'35.92"K 29°15'14.61"D	
Malatya/Arapkir	4
39° 2'25.94"K 39° 2'32.18"K 39° 2'14.03"K 39° 2'3.08"K 38°29'52.31"D 38°29'38.15"D 38°29'38.68"D 38°29'26.59"D	
Malatya/Darende	4
38°32'37.09"K 38°32'25.55"K 38°32'19.95"K 38°31'57.35"K 37°30'32.21"D 37°30'37.48"D 37°30'39.35"D 37°30'45.06"D	
Malatya/Battalgazi	1
38°25'10.61"K 38°22'11.89"D	
Mersin	4
36°20'39.43"K 36°41'30.73"K 36°41'25.92"K 36°43'7.03"K 33°24'8.11"D 33°36'7.26"D 33°36'1.12"D 33°43'3.51"D	
Nevşehir/Yeşilgöz	4
38°48'1.74"K 38°47'59.86"K 38°47'57.64"K 38°47'56.36"K 34°39'45.29"D 34°39'46.67"D 34°39'50.99"D 34°39'38.07"D	
Nevşehir Göreme	
38°38'19.32"K 38°38'24.66"K 38°38'26.57"K 38°38'21.81"K 34°49'44.58"D 34°49'38.26"D 34°49'54.33"D 34°49'8.90"D	
Nevşehir/Hacıbektaş	4
38°56'33.76"K 38°56'31.81"K 38°56'25.83"K 38°56'25.60"K 34°33'46.01"D 34°33'44.13"D 34°33'41.97"D 34°33'41.39"D	
Nevşehir/Yüksekli	1

38°48'17.23"K 34°30'30.86"D	
Niğde/Bor ve Karaath	2
37°51'22.72"K 38° 7'40.74"K 34°35'5.81"D 34°58'23.27"D	
Niğde/Çiftahan	4
37°30'38.70"K 37°30'42.85"K 37°30'42.48"K 37°30'40.61"K 34°45'30.40"D 34°46'28.14"D 34°46'38.48"D 34°46'40.81"D	
Sivas/Gürün	2
38°43'19.58"K 40° 6'17.71"K 37°16'15.75"D 38°10'30.47"D	
Tokat/Merkez	4
Tunceli	2
39° 2'8.87"K 39° 2'26.04"K 39° 2'41.01"D 39° 2'46.51"D	
Toplam	185

\*GPS koordinasyonları TÜBİTAK TOVAG destekli 106O102 kodlu projenin (Özgen vd., 2008) sonuç raporunda yer almaktadır.  
\*\* Bu bölgelerde ağaçlar yakın konumlandıkları için her bir ağaç için GPS koordinasyonları alınmamıştır.



Şekil 4. Türkiye'nin asırlık ekşi karadut ağaçları. a) Nevşehir (Yeşilgöz (Cemel) Köyü, b) Nevşehir Göreme.

Çizelge 2. Türbelerde bulunan ve yaşı 800-850 olduğu düşünülen ekşi karadut ağaçları

Şehir	Türbe Adı	Özel Not
Adıyaman Karadut köyü	Seyyid Mustafa Baba	Türbe içinde iki adet asırlık ağaç bulunmaktadır. Diğer türbelerdeki ağaçlardan daha genç oldukları görülmüştür.
Amasya	Nurettin Alpaslan	800 yaşında olduğu tahmin edilmiştir.

Çorum	Tekne Dede	800 yaşında olduğu tahmin edilmiştir.
Erzincan	Hıdır Abdal Sultan	Küllüye içinde çok yaşlı beyaz dut ağaçları da mevcuttur.
Eskişehir	Şeyh Sücaeddin-i Veli	Küllüye içindeki 10 kadar ağacın koruma kurulu tarafında 800 yaşında olduğu tahmin edilmiştir.
Nevşehir	Hacı Bektaş Veli	Mezarın önünde bir ağaç özellikle göze çarpsa da külliyenin farklı yerlerinde 4 ağaç daha mevcuttur.
Siirt	Şeyh Saad	800 yaşında olduğu tahmin edilmiştir.

### 3.2. Asırlık ekşi karadut bahçeleri

Sörvey alanında ne zaman ve kimin tarafından kurulduğu bilinmeyen fakat asırlardır var olduğu düşünülen 4 adet tarihi kapama ekşi karadut bahçesi belirlenmiştir. Tarihi bahçelerde ağaç sayısını net olarak belirlemek zor olmaktadır. Çünkü bazan ocak dikim sistemi tercih edilmiştir. Yani birbirine yakın 2 ya da 3 ağaç birlikte dikildiği görülmektedir. Ayrıca Karadut ağaçları yaşlandıklarında yan yatma, gövdenin yarılarak birkaç parça halinde yan yatması veya büyük dalların yan yatması söz konusudur. Yüzerce yıllık olan bahçelerde bir ağacın birçok dalı mı mevcut yoksa birden fazla ağaç bir ocağa mı dikildiği bazı durumlarda netleştirilememektedir. Yozgat'ın Çekerek ilçesine bağlı Kurtağılı Köyü arazisinde antik ekşi karadut bahçesinde 10 ila 15 arasında yakın devasa ekşi karadut ağacı bulunmaktadır. Yerel belediye bu tarihi alanı koruma altına almıştır. Çankırı Eldivan ilçesi Gölez köyünde yaklaşık 10-15 ağaçtan oluşan bir tarihi kapama bahçe mevcuttur. Köyün merkezinde olan bu ağaçlardan çoğaltılmış genç ağaçları ev bahçelerinde görmekte mümkündür. İnsanlar bu ağaçlara çok saygı duyup önem vermektedir. Diğer bir kapama bahçe de Eskişehir, Seyitgazi ilçesine bağlı Arslanbeyli Köyü'nde Şeyh Sücaeddin-i Veli Külliyesi'nde yer almaktadır. 8-10 ağaçtan oluşan bahçe külliye içinde yer alması nedeniyle iyi koruma altındadır. Ağaçların 850 yıllık olduğunu belirten ve Anıtlar Kurulu tarafından kayıt altına alındığını gösteren bir levha bahçede mevcuttur (Şekil 3). Köyde genç ağaca rastlanmamıştır. Yine Manisa Saruhanlı Çal dağında 7 adet anıtsal ağaç yarım dekar bir arazide yer almaktadır. Bu civarda da genç ağacın bulunmayışı, ekşi karadut çoğaltımının terk edildiğini göstermektedir.

Çizelge 3. Antik kapama ekşi karadut bahçeleri

İl	İlçe/Köy	*	**	GPS kordinasyonu
Eskişehir	Seyitgazi/Arslanbeyli Köyü, Şeyh Sücaeddin-i Veli Türvesi	850	10	39°27'2.98"K 30°36'52.27"D
Çankırı	Eldivan/Gölez	850	10	40°29'47.10"K

İlçe	Yer	Yaş	Ağaç Sayısı	GPS Kordinasyonu
Manisa	Çal Dağı	850	7	33°32'58.81"D 38°37'50.01"K 27°46'30.21"D
Yozgat	Çekerek/Kurtağılı	850	10	40°27.29"K 35°33'51.27"D

\* Tahmini yaş.

\*\* Tahmini ağaç sayısı. Ağaçların sayısının tahmini verilme nedeni metin içinde belirtilmiştir.

### 3.3. Üretim yapılan bölgeler

Yapılan sörvey sırasında ekşi karadut ağaçlarının az sayıda da olsa birçok bölgede mevcut olduğu görülmüştür. Ekşi karadut ağaçlarının sayısı, yaygın türler olan kayısı, erik, ceviz, beyaz dut gibi meyvelere kıyasla oldukça az olduğu gözlenmiştir. Genç ağaç yoğunluğunun fazla olduğu başlıca bölgeler Adıyaman/Besni, Bitlis'in Adilcevaz ve Ahlat ilçeleri, Çorum-Tokat arası, Gaziantep, Kahramanmaraş/Ilıca, Niğde/Çiftelhan, Afyon ve Konya arasında yer alan Sultan Dağı eteğinde konumlanmış yerleşim yerleri, İzmir Tire Canbazlı köyü, Tunceli Pertek ilçesidir (Çizelge 4). Genç ağaçların yaygın olduğu tüm bölgelerde çoğaltımın aşısı ile gerçekleştirildiği görülmüştür. Çeşit olmadığı ve genelde ağaçların bölgedeki diğer ağaçlardan göz alınarak çoğaltıldığı görülmüştür. Bu bölgelerde meyveler toplanıp ev içinde tüketilmekte, mahalle içinde ve yerel pazarlarda satılmaktadır. Pekmezi yapıldığı gibi dondurma yapımında kullanılmaktadır.

Çizelge 4. Genç ekşi karadut ağaçlarının yaygın olduğu ve üretim yapılan bölgeler

İl	İlçe-Köy
Adıyaman	Besni
Bitlis	Ahlat ve Adilcevaz
Afyon	Çay
İzmir	Tire-Canbazlı
Kahramanmaraş	Ilıca
Gaziantep	Araban
Niğde	Çiftelhan
Tunceli	Pertek

### 3.4. Bölgelere göre asırlık ağaçlar ve yetiştiricilik durumu

#### 3.4.1. Güneydoğu Anadolu

Gaziantep'in Araban ilçesinde tarihi ekşi karadut ağacına rastlandığı gibi sınırlı sayıda genç ağaçlar da mevcuttur. Gaziantep sokaklarında karadut suyu satılmaktadır. Bu dut suyu daha ziyade beyazın siyahı türlerden elde edilmektedir. Adıyaman Besni ilçesinde diğer bölgelere göre yoğun ekşi karadut yetiştiriciliğinin yapılmaktadır. Besni ilçesinin ev bahçelerinde yer alan orta yaşlı ekşi karadutların yanı sıra, refüjlerde genç ağaçların mevcudiyeti, halkın ve yerel yönetimin ekşi karaduta verdiği önemi göstermektedir. Hasankeyf'in merkezinde ve yakın köylerinde orta ve genç yaşta karadut ağaçları mevcuttur. Meyveler toplanıp yerel pazarda satılmaktadır. Burada, kalem aşısı ile ekşi karadut çoğaltımı yapan usta yetiştiriciler mevcuttur. Tarihi ağaca rastlanılmamıştır. Fakat genç ağaç sahipleri, aşısı için kalemlerini, dağ köylerindeki ağaçlardan aldıklarını belirtmiştir.





Şekil 6. Asırlık ekşi karadut ağaçları. a) Kayseri Çaybağları, b) Kayseri Yazır köyü, c) Elazığ Harput Ulucami yanı, d) Şebinkarahisar.



Şekil 5. Asırlık ekşikaradut ağaçları. a) Niğde Kemerhisar, b) Ankara Kahramankazan.

### 3.4.2. Doğu Anadolu

Bitlis'in Adilcevaz ve Ahlat ilçelerinde yoğun ekşi karadut mevcuttur. Ağaçlar aşı ile çoğaltılmakta, *M. alba* dutları anaç olarak kullanılmaktadır. Asırlık yaşlı ağaçların yanı sıra orta yaşlı ağaçlar da ev bahçelerinde görülmüştür. Elâzığ'ın Harput yerleşkesindeki ekşi karadut ağaçlarının en görkemlisi Ulu Cami'nin yanındadır. Malatya'nın Darende ilçesinin gururla reklamını yaptığı tarihi toprak evlerinin bahçelerinde antik ekşi karadut ağaçları mevcuttur. Erzincan'ın eski ismi Eğin olan Kemaliye ilçesi küçük ama önemli bir meyve cennetidir. Dut piyasasında meşhur olan, Eğin dutu olarak bilinen, çekirdeksiz beyaz dut olmasına rağmen bu küçük ilçede Cumhuriyet öncesinde dikilmiş birçok tarihi ekşi karadut ağacı mevcuttur. Çok sayıda genç çekirdeksiz beyaz duta rastlanırken, genç ekşi karadut ağacının görülmemesi ekşi karadutların çoğaltılmadığını göstermektedir. Tunceli'nin Pertek ilçesinde 2011 yılında 25 bin ekşi karadut projesi başlatılmıştır (Anonymous, 2011). Bu civarda birçok genç ağaç olup, bazı bahçelerde meyveler toplanıp özellikle pekmez yapılarak satılmaya başlanmıştır.

### 3.4.3. İç Anadolu

Kayseri taş evlerinin avlularında asırlık ekşi karadut ağaçları mevcuttur. Tarihi taş evler büyük gövdeli devasa ağaçlara ev sahipliği yapmaktadır. Ankara'nın Ayaş ve Beypazarı ilçeleri tarihi evleri gibi tarihi dut ağaçlara da ev sahipliği yapmaktadır. Genç ağaçlara rastlanılmaması ekşi karadutların çoğaltılmadığını göstermektedir. Ankara'nın Nallıhan ilçesinde de ise az sayıda orta yaşlı ve genç ekşi karadut ağacı tespit edilmiştir Ankara'nın Orhanlı Köyü'nde birçok asırlık ekşi karadut ağacı vardır. Nevşehir Yeşilgöz (Cemel) köyünde yaşayanlar bölge ziyaretçilerine dut ağaçlarının 2600 yıllık olduğunu belirtmektedir. Bilimsel bir temeli olmasa da bu ağacın oldukça heybetli olduğu görülmüştür (Şekil 1A). Bu devasa ağacın civarında 3 adet asırlık ağaç daha mevcuttur. Yüksekli köyünde ise bir başka devasa ağaç yer almaktadır. Nevşehir'de Anadolu erenlerinden Hacibektaş'ı Veli Hazretleri Türbesinde birden çok asırlık yaşlı dut bulunmaktadır. Ağaçların 8 asır üzerinde yaşı olduğuna inanılmaktadır. Sınırlı sayıda çoğaltım yapıldığı görülmüştür. Niğde ilinde Kemerhisar'da Roma kalıntılarına yakın devasa gövdesi olan bir ekşi karadut ağacı mevcuttur (Şekil 1B). Yerel haberlerde 400 yıl yaşında olduğu söylene de birçok şehirde 7-8 asır olduğu inanılan ağaçlardan daha geniş bir gövde çapı olduğu görülmüştür. Niğde Çiftahan ilçesi ekşi karadutun yetiştiriciliğinin ekonomik olarak yapıldığı bölgelerden biridir. Burada üretilen meyveler Kahramanmaraş ve Gaziantep'te alıcı bulmaktadır. Sivas'ın Suşehri ilçesi Cevizli Köyü'nde 4 asırlık olduğu söylenen devasa bir ağaç mevcuttur. Konya ili sınırlarında yer alan Karacadağ ekşi karadut ağaçlarının diğer bir yerleşkesidir. Bu dağ üzerindeki köylerin hepsinde üçer dörder dut ağacı mevcut olup cumhuriyet sonrası ağaçlar ağırlıktadır. Az sayıdaki antik ağaç da mevcuttur.





Şekil 7. Gövdeleri ve taçları çok devasa olmasa da dikim tarihi bilinmeyen, Cumhuriyet öncesinden kalan ekşi karadut ağaçları. a) Niğde Yeşilburç, b) Kayseri Erkilet, c) Konya Karacadağ, d) Kayseri Erkilet.



Şekil 8. Yan yatan ya da ortadan yarılan asırlık ekşi karadut ağaçlarına örnekler. a) Kayseri Süksün, b) Ankara, Ayaş, Gökler köyü, Prof. Dr. Sadık Erik'in dikkat çektiği, 2021 yılında anıt ağaç olarak tescillenen ekşi karadut ağacı (Anonymous, 2019)

#### 3.4.4. Karadeniz

Grieve (1931)'in yabani ekşi karadutlara ev sahipliği yaptığını belirttiği, buna dayanarak Anadolu'nun ekşi karadutun anavatanı olabileceğini söylediği Kuzey Küçük Asya bölgesi,

Eskişehir, Ankara ve Kastamonu'dan başlayıp, Çorum, Amasya, Tokata ve devamında Şebinkarahisar'dan Erzurum'a uzanan hattır. Bu hatta Grieve (1931)'in belirttiği gibi tarihi ekşi karadut ağaçları mevcuttur. Ağaçların son yıllarda çoğaltıldığı, genç ağaç sayısının artmaya başladığı görülmüştür.



Şekil 9. Asırlık ekşi karadut ağaçları. Kayseri Talas.



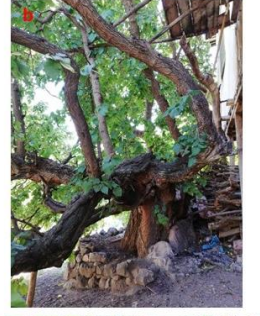
Şekil 10. Asırlık ekşi karadut ağacı. Konya Seydişehir. 20 m ara ile dikilmiş 3 asırlık ekşikaradut ağacından birtanesi.

#### 3.4.5. Ege

İzmir'in Tire ilçesi Cambazlı köyü sakinleri Türkiye'nin en iyi ekşi karadutunu yetiştirdiğine inanmaktadır. Birçok evin bahçesinde orta ve genç yaşta ekşi karadut bulunur. 3-5 ağaçtan oluşan kapama bahçelerde üretilen ekşi karadut meyveleri yakın pazarlarda alıcı bulmaktadır. Meyvelerin dondurularak saklanması bu köyün sakinlerine karadutu yeni bir kazanç kaynağı olarak sunmuştur. Afyonkarahisar ve Akşehir arasında, Sultandağı'nın eteğinde konumlanan Çay, Yakasinek ve Sultandağı yerleşim bölgelerinin ev bahçelerinde genç ve orta



yaşlı ekşi karadutları görmek mümkündür. Balıkesir'den İzmir'e kadar uzan bölgede yol kenarlarında siyah dut suyu satılmaktadır. Satıcılara dut sularını hangi meyvelerden elde ettikleri sorulduğunda dağ köylerindeki ekşi karadut ağaçlarından elde ettiklerini söylemektedirler. Halbuki Ege Bölgesi'nde dağ köyleri gezilmiş, tek tük bulunan ağaçlar dışında ağaç görülmemiştir.



Şekil 12. Asırlık ekşi karadut ağaçları. a) Giresun Şebinkarahisar b) Tokat Merkez c) Çorum Laçın, d) Mersin Mut.



Şekil 11. Ankara Orhanlı köyünden bulunan onun üzerindeki asırlık ekşi karadut ağaçlarından ikisi.

#### 3.4.6. Akdeniz

Kahramanmaraş'ın Göksun ilçesi köylerinin bazılarında 1 ya da 2 adet ekşi karaduta rastlansa da en yoğun Süleymanlı Bucağı ve Ilıca Belediye'sinde görülmektedir. Bu bölgede aşı ile çoğaltılan genç ve orta yaşlı ağaçlar mevcut olup, kaplıcası ile meşhur Ilıca Belediye'sine gelen yerli turistlere ekşi karadut reçeli ve pekmezi satılmaktadır. Ilıcalı satıcılar ekşi karadut pekmezlerinde hayli gurur duymaktadır. Hatay oldukça zengin dut merkezidir. Çok yoğun beyaz dut ağacı mevcut olup, ekşi karadutlara da rastlanmaktadır. Isparta'nın, Eğridir, Sütçüler ve Mahmatlar bölgesi ekşi karadutlara ev sahipliği yapmaktadır. Sütçüler ve Mahmatlar'da ayrıca genç ağaçlarda görülmektedir. Buranın sakinleri civardaki dutların Mahmatlar'daki 4 adet tarihi dutlardan aşı ile çoğalttıklarını belirtmektedir.

#### 3.4.7. Marmara

Balıkesir Havran merkezde sınırlı sayıda genç ağaç mevcut olup, çoğaltma boru aşısı ile yapılmaktadır. İstanbul, kültürün, sanayinin kalbi olduğu gibi, tarihi ekşi karadut ağaçlarına da sahiplik yapmaktadır. Yoğun binaların içinde günümüzde ekşi karadut bulmak zor olsa da bu dev şehirde tarihi parklarda korunmuş yaşlı ekşi karadut ağaçları mevcuttur. Trakya bölgesinde Çanakkale'den feribot ile karşıya geçildiğinde, Gelibolu yarımadasında bulunan Eceabat'ta tarihi ekşi karadut ağaçları mevcuttur. Diğer bölgelerinde tek tük aşı ile çoğaltılmış genç ağaç mevcut iken, asırlık ağaç görülmemiştir.



Şekil 13. Asırlık ekşi karadut ağaçları. a) Erzincan Eğin, b) Gümüşhane Avutmuş köyü, c) Niğde Yeşilburç tarihi kilise bahçesi, d) Manisa Çal dağı.





Şekil 14. Asırlık ekşi karadut ağacı. İstanbul Validebağ koruluğu.

### 3.5. Derim Zamanı

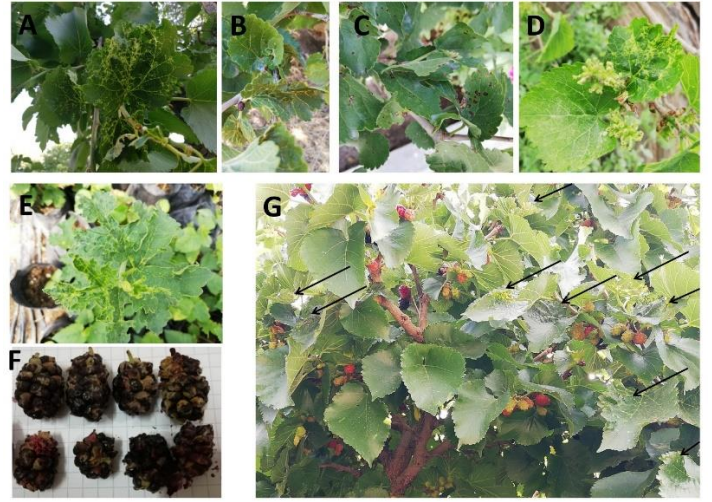
Ekşi karadutta meyve derim süresinin 8-10 hafta olduğu görülmüştür. Meyve derimi karasal iklim kuşağında Haziran'ın ikinci yarısında başlayıp Eylül ortası kadar devam etmektedir. Akdeniz iklim kuşağında hasat iki hafta daha erken başlayıp Eylül başında sonlanmaktadır. Belki de meyve türleri içerisinde en uzun hasat dönemi olan türdür. Diğer dut türlerinde meyve 3 hafta içinde toplanmakta iken ekşi karadutta toplama zamanının bu kadar uzun sürmesi ekşi karadutu bir kez daha oldukça ilginç bir tür yapmaktadır. Meyvenin olgunlaşma zamanının anaç kullanıldığı durumlarda 15 gün erken başlayıp, 15 gün erken bittiği gözlenmiştir. Anacın meyve derim zamanına etkisi kontrollü koşullarda deneme kurularak çalışılması gerekmektedir.

### 3.6. Ekşi karadut ağaçlarının hastalık ve zararlıları

2018 yılında Kahramanmaraş ve Gaziantep civarında meyve toplanmadığı, meyvelerin dalında kuruduğu görülmüştür. Aynı şekilde Tokat'ın batısından itibaren İç Anadolu'nun kuzeyindeki bölgedeki birçok ağaçta yine meyvenin ağaçta kuruduğu görülmüştür. İzmir'in Tire ilçesi Cambazlı ekşi karadutlarının kurtlandığı için satılmadığı tespit edilmiştir. 2021 yılında Kahramanmaraş Ilica ilçesi ekşi karadut ağaçlarında dalların kurumması, ağaçların az meyve vermesi ve meyvelerin olgunlaşmadan önce kurumaya başladığı gözlenmiştir (Şekil 15). Birçok ağaçta özellikle yapraklarda viral semptomlar gözlenmiştir (Şekil 16). Semptomlara neden olan hastalık etmeni araştırılmış, ekşi karadutun konukçusu olduğu yeni bir virüs keşfedilmiştir. Bu virüs için ekşi karadut idaeovirus (black mulberry idaeovirus -BMIV) ismi önerilmiştir (Gürcan ve ark., 2021). Viral hastalığın verim kaybına etkisi bilinmemektedir. Meyvelerin dalda olgunlaşmadan kurumması ve dalların kurumması ile yeni keşfedilen virüsün ilişkili olup olmadığı henüz bilinmemektedir. Ekşi karadutta çok sınırlı sayıda hastalık ve zararlılarla ilgili literatür bilgisi mevcuttur. Orwa vd. (2009) ekşikara dutun genel olarak hastalık ve zararlılara konukçu olmadığını, sadece kansere yenik düştüklerini rapor etmiştir. Farr vd. (1989) ekşikara dut yapraklarında *Mycosphaerella mori* (Fuckel) F. A. Wolf. fungal etmeninin neden olduğu kuru, nekrotik, dairesel yaprak lekeleri ile kendini gösteren yaprak lekeli mantarını rapor etmiştir. İlginç bir şekilde Anadolu'nun birçok bölgesinde Ekşikara dutun hiçbir hastalık ve zararlısının olmadığı düşünülmektedir. Ancak, ülke çapında yapılan bu sorvey çalışması, durumun böyle olmadığını göstermektedir. Kuvvetle muhtemel ekşi karadut hastalık ve zararlıları çalışılmadığı için hastalık ve zararlılar tanımlanmamıştır.



Şekil 15. Ekşi karadutta yaygınca görülen a) dal kurumları ve v) meyvelerin yapraklarla beraber dalda kurumması.



Şekil 16. Ekşi karadutta tespit edilen viral hastalık semptomları. A) Olgun yapraklarda mozaikler; B) Damarda renk değişikliği, bükülme ve deformasyon; C) Nekrozlar; D) Deforme olmuş kedicikler, kısa düzensiz çiçekler; E) Yayılan bir yaşındaki doku kültürünün terminal tomurcuğundaki en genç yapraklarda belirtiler; F) Meyvenin parçalanması ve meyvede kabuklanma; G) Enfekte bir ağacın genel görünümü, oklarla gösterilen semptomlu yapraklar (Gürcan ve ark., 2021).

### 3.7. Ekşi karadutta çoğaltım

Asırlık ağaçların hepsinin kendi kökü üzerinde yetiştirildiği görülmüştür. Aşı ile çoğaltılmış asırlık ağaç görülmezken, aşı ile çoğaltılan ağaçların genç olduğu, en fazla 30-40 yıllık oldukları görülmüştür. Bu durum ağaç sahiplerince de teyit edilmiştir. Kendi kökleri üzerinde ağaçların uzun yaşadıkları anlaşılmaktadır. Ekşi karadut ağaç sahipleri ve bazı bölgelerdeki fidancılar göz aşısının tutma oranının oldukça düşük olduğunu söylemektedir. Kayseri civarında, boru aşısının, T aşısına göre daha yüksek tutma oranı verdiği bu nedenle tercih edildiği görülmüştür (Şekil 17). Fakat, Bursa, Malatya ve Elazığ'da karşılaştığımız bazı fidancılar ise T tipi durgun göz aşısı ile çok başarılı (tutma oranı %90-100) sonuç aldıklarını belirtmişlerdir. Kalem aşısı özellikle Güneydoğu Anadolu'da tercih edilmektedir, bu aşığı yapanlar başarı şansının daha yüksek olduğunu söylemektedir (Şekil 18). Hava ve dip daldırma yöntemlerinin de kullanıldığı görülmüştür (Şekil 18). Tohumla doğal çoğaltım görülmemiştir. Beyaz dut, kayısı, erik, vişne, elma gibi birçok meyve türü



tohumlarının doğal koşullarda çimlenip büyüdüğü gözlenirken, geziler sırasında tohumla çoğalmış genç ekşi karaduta rastlanmamıştır. Genelde birçok bölgenin insanı tohum ile çoğaltımın zor olduğuna ikna olmuş durumdadır. Fakat laboratuvarımızda yaptığımız çalışmalarda, soğuklama ihtiyacı giderildikten sonra tohumla çoğaltımın çok kolay olduğu görülmüştür (Şekil 18). Ekşi karadutta klon anacı olmadığı, aşıcıların genelde *M. alba* türü tohum anaçlarını tercih ettiği görülmüştür. Ekşi karadutun doku kültürü ile çoğaltıldığı bilinmektedir (Sütyemez, 2021). Ekşi karadut kapama bahçeciliğine geçiş için doku kültürü ve aşı çoğaltım yönteminin stabil hale getirilmesi gerekmektedir.



Şekil 17. Kayseri’de ekşi karadutun boru aşı yöntemi ile aşılınması. a) Gözler, b ve c) Gözün kaleme yerleştirilmesi, d) Süren göz.

### 3.8. Ekşi karadutun isimlendirilmesi

Ekşi karadut yörelere göre değişen farklı isimler ile anılmaktadır. Romalılardan beri Rum’lar bu dutu yaygın olarak yetiştirdiklerinden, Anadolu’nun birçok bölgesinde Rum dutu olarak adlandırıldığı görülmüştür. Kayseri’de “eşgari”, Tokat-Erbağ taraflarında “ekşiare” olarak isimlendirilmektedir. Malatya, Elâzığ, Tunceli çevrelerinde “horum dutu”, Kahramanmaraş ve Gaziantep’de “umru” yada “urum” dutu, Manisa dolaylarında “şurupluk dut” ve Diyarbakır’da “şaraplık dut”, kimi bölgelerde ise “kan dutu” ve “ahu dutu” olarak adlandırılmaktadır. Bilimsel makalelerde ise daha çok İngilizce çevirisi olan karadut ifadesi kullanıldığı görülmektedir (Özgen vd., 2009; Koyuncu vd., 2014; Okatan vd., 2016; Sümerli, ve Kazankaya, 2020). Halbuki bu durum ekşi karadutun diğeri siyah renkli dutlar ile karıştırılmasına neden olmaktadır. Anadolu’da olduğu gibi bilimsel metinlerde “ekşi karadut” ifadesi kullanılmalıdır. Olgun meyveleri oldukça tatlı olmasına rağmen, bu dutun kurutulmuş meyveleri ekşi olmaktadır. Yemeklere ve salatalara sumak gibi ekşi tadı vermek için eklenmektedir. Ekşi karadutun baharat olarak kullanımı kaybolmaya yüz tutsa bile Göreme gibi bazı yörelerde devam ettiği görülmüştür. Bu nedenle ekşi karadut olarak isimlendirildiği tahmin edilmektedir. Evliya Çelebi, meşhur Seyahatnamesinde bu tür için ekşi ifadesini

kullanmıştır. Pamfilya (bugünkü Antalya düzlüğünden Anamur’a kadar olan alan) gezi notlarında *M. nigra* dutlarından bahsederken ekşi karadut (sour black mulberry) ifadesini kullanmıştır (Crane, 1993). Başta *M. alba*, *M. rubra* ve *M. macruara* olmak üzere birçok dut türünün de siyah meyveli tip ve çeşitleri yaygındır. Bu nedenle ekşi ifadesi bu türün diğer dut türlerinden ayırt edilmesinde kullanılacak çok uygun bir tanımlamadır. Ayrıca belirtmek gerekir ki Latince *M. nigra* yani siyah dut olarak tanımlanmasının nedeni tomurcuklarının siyah olmasıdır. Anadolu’da diğer türlerin siyah meyveli olanlarına “beyazın siyahı” denmektedir.



Şekil 18. Ekşi karadut çoğaltım yöntemleri. a) Hava daldırma, b) Yarma aşı, c) ve d) tohumla çoğaltım.

### 3.9. Islah hedefleri/karakterleri

Sörvey sırasında oluşan bilgi birikimi ve ekşi karadut tarımının durumu teorik olarak incelendiğinde ekşi öncelikli yetiştiricilik ve ıslah sorunları belirlenmiştir. Önemli ıslah karakterleri: 1) meyvelerinin dalından zor kopması ve 2) meyve sertliğinin düşük olması/meyve raf ömrünün kısa olmasıdır. A) Çeşit olmaması, B) Yetiştiricilik tekniğinin çalışılmamış olması, C) Anaçlarının çalışılmamış olması, anaçların taç üzerine etkilerinin bilinmemesi, D) Çeşit geliştirme ve koruma biyolojisi içi önemli olan gen havuzundaki varyasyon bilgisinin çalışılmamış olması önemli yetiştiricilik sorunları olarak tespit edilmiştir. Sadece Türkiye’de değil, bildiğimiz kadarıyla başka hiçbir ülkede de ıslah programı yoktur. Türkiye, karadutun genetik çeşitlilik merkezi olarak kabul edilen bölgelerden biri olması nedeniyle, karadut yetiştiriciliğini anlamak ve bilgi birikimini artırmak için büyük bir fırsat sunmaktadır.

### 3.10. Ekşi karadut ağaçlarında cinsiyet

Gezilerimizde incelenen ekşi karadutların hepsinin monoik olduğu yani hem erkek hem de dişi çiçeklerin aynı bitki üzerinde olduğu görülmüştür. Sadece erkek olan ekşi karadut ağacına rastlanmamıştır. Erkek ve dişi çiçek püskül tipinde olup, erkek püskülde yer alan her bir çiçekte 4 stamen bulunur. Dişi püskülde her çiçekte bir pistil bulunur. Pistillerin stigma kısmı kıvrılmış boynuz gibidir. Ekşi karadutun tozlaşma biyolojisi maalesef hiç çalışılmamıştır. Ekşi karadutun modern meyveciliğe



entegrasyonunda bu konu öncelikli çalışılması gereken konulardandır.



Şekil 19. Ekşi karadutta A) erkek ve B) dişi çiçek püskülleri.

#### 4. Sonuç

Bu çalışma ile Türkiye’de ekşi karadutun yetiştiği bölgeler belirlenmiştir. 200’ün üzerinde asırlık, anıt ağaç niteliğinde ekşi karadut ağacı belirlenmiştir. Bu ağaçlar Türkiye ekşi karadut gen havuzunu temsiliyeti oldukça yüksektir. Bu gen havuzu seleksiyon çalışmaları için önem arz etmektedir. Ayrıca moleküler yöntemler ile genetik çeşitliliği çalışılarak Türkiye’deki bu dut türünde varyasyon durumunun belirlenmesi gerekmektedir. Sörvey sırasında toplanan bilgiler, fotoğraf ve videolar lifosbio.com web sayfasına paylaşılmıştır. Türkiye yerel gazetelerinde çıkan haberler insanların ekşi karadut ağaçlarına ne kadar önem verdiğini göstermektedir. Çankırı, Eldivan, Gölez ve Ankara, Kahramankazan, Orhaniye köylerinde bu ağaçlar için her yıl düzenli festival düzenlenmektedir. Kuvvetle muhtemel Anadolu’da bu çalışma da belirtilenden daha fazla asırlık ekşi karadut ağacı mevcuttur. Asırlık ağaçların tamamı belirlenmesi, anıt ağaç olarak tescillenmesi ve korunma altına alınması gerekmektedir.

Çalışma kapsamında meyvelerinin toplanıp yerel pazarlarda satıldığı bölgeler belirlenmiştir. Bu bölgeler ekşi karadut kapama bahçelerinin yaygınlaştırılması için başlangıç olma potansiyelinde oldukları için önemlidirler. Bu bölgelerde hem yetiştirici hem de tüketici ekşi karaduta aşinadır.

Asırlık ekşi karadut ağaçlarının kendi kökü üzerinde yetiştiği, meyve üretiminin ve genç ağaçların yaygın olduğu bölgelerde ise

ağaçların aşısı ile çoğaltıldığı görülmüştür. Bu durum ekonomik üretim için anacın önemine işaret etmektedir.

Meyve derim döneminin 8-10 hafta olduğu görülmüştür. Hiçbir meyve türünde olmadığı kadar uzun bir süreye tekabül etmektedir. Anacın derim zamanının 15 gün erkene çektiği görülmüş olup, bu durumun kesinleştirilmesi için deneysel çalışmalar yürütülmelidir.

Çeşit olmadığı görülmüştür. Meyvelerin dalından zor kopması ve meyvelerin çok kolay deforme olmaları, çok kısa sürede bozulmaları kapama bahçe tarımına entegresonda çözülmesi gereken önemli tarımsal karakterler olarak belirlenmiştir. Kapama bahçe yetiştiriciliğine uygun çeşit geliştirilmesi gerekmektedir. Dalından kolay kopan meyve raf ömrü uzun olan çeşitler geliştirilmelidir. Gen havuzunda bu karakterler taranmalı, bu karakterler gen havuzunda mevcut değilse farklı anaçlar kullanılarak bu karakterlerde ıslah yoluna gidilmesi gerekmektedir.

Birçok bölgede ekşi karadutun çoğaltımın terk edildiği görülmüştür. Birçok bölgede kayısı ve elma gibi aşısı kolay tutan türleri çoğaltan yetiştiriciler ekşi karadutta başarılı olmadıklarını söylemektedir. Fakat Güneydoğuda, Malatya ve Elazığ’da karşılaştığımız aşıcılar, ekşi karadutu yüksek başarı sağladıklarını söylemektedir. Çoğaltma yöntemlerinin çalışılması ve stabil hale getirilmesi gerekmektedir.

Meyveleri dondurarak kışın tüketildiği için, raf ömrü uzun ekşi karadut gen havuzunda bulunmasa dahi, dondurularak ekşi karadut meyveleri özellikle Avrupa, Ortadoğu, Japonya gibi yüksek alım gücü olan pazarlara ulaştırılabilir. Bu nedenle şoklama gibi dondurarak muhafaza yöntemleri çalışılmalıdır.

Erkek ağaç görülmemiştir. Tüm ağaçların monoik olduğu belirlenmiştir. Bu durum tohumla çoğaltımın olmadığına işaret etmektedir. Ayrıca Türkiye’nin genetik merkez olma ihtimalini zayıflatmaktadır. Tozlaşma biyolojisi çalışılmamıştır. Tozlaşma biyolojisinin belirlenmesi ekşi karadut kapama bahçeciliğinin geliştirilmesinde önemli bir zorunluluktur.

Ekşi karadutun Türkiye’nin her bölgesine yetişiyor olması, tüketicinin ve yetiştiricinin ekşi karaduta verdiği yüksek değer, ekşi karadut kapama bahçeciliği açısından Türkiye’nin yüksek potansiyeli olduğunu göstermektedir. Önemli bir ticaret hacmi oluşturabilecek, tekrar insan diyetine girmesi gereken bir türdür.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma TUBİTAK Teknoloji ve Yenilik Destek Programları Çerçevesinde 2180403 nolu proje ile desteklenmiştir.

Tüm Tarım Bakanlığı il ve ilçe teşkilatlarına, Prof. Dr. Halit Yetişir’e, Konya Karacadağ ve Ankara Orhanlı Köyü ağaçlarına erişimi; Emir Birant’a, Ankara Kahramankazan ve Eskişehir Gecek köyü ağaçlarına erişimi, Aynur Gürcan’a İstanbul ağaçlarına ulaşımı sağladığı için teşekkürleri borç biliriz.

#### Kaynakça

Akin, M., SP. Eyduvan, S. Ercişli, V.K., Toteva, & E. Eyduvan, 2016. “Phytochemical Profiles of Wild blackberries, black and white mulberries from Southern Bulgaria”.

- Biotechnology & Biotechnological Equipment, 30(5): 899-906.
- André, J., 1985. Les noms de plantes dans la Rome antique. Les Belles Lettres, Paris, 332 pp.
- Anonymous, 2010a. Üç asırlık karadut ağacı şifa dağıtıyor. (<http://www.internethaber.com/uc-asirlik-karadut-agaci-sifa-dagitiyor-273394h.htm>) (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2010b. 400 yıllık karadut ağacı dimdik ayakta – Sivas. (<http://haberciniz.biz/400-yillik-karadut-agaci-dimdik-ayakta-sivas-897079h.htm>) (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2011. Pertek'e 25 Bin Karadut Fidanı Dikilecek. (<https://www.sondakika.com/yemel/haber-pertek-e-25-bin-karadut-fidani-dikilecek-2940766/>). (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2012. Amasya il genel meclis üyeleri taşova'da incelemelerde bulundu. (<https://www.haberler.com/amasya-il-genel-meclis-uyeleri-tasova-da-4104308-haberi/>) (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2013a. Çal dağındaki karadut'un hikayesi. (<https://www.haberler.com/cal-dagi-ndaki-karadut-un-hikayesi-4715386-haberi/>) (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2013b. Hacibektaş ilçesinde 700 yıllık dut ağacı. ([www.fibhaber.comhttps://www.fibhaber.com/ozel-haber/hacibektas-ilcesinde-700-yillik-dut-agaci-h3641.html](http://www.fibhaber.comhttps://www.fibhaber.com/ozel-haber/hacibektas-ilcesinde-700-yillik-dut-agaci-h3641.html)) (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2014a. Cambazlı'da karadut mucizesi. (<https://www.haberler.com/cambazli-da-karadut-mucizesi-6571875-haberi/>) (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2014b. 800 yıllık karadut ağaçları. (<http://www.milliyet.com.tr/800-yillik-karadut-agaclari-konya-yerelhaber-303473/>). (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2014c. Bor'da birkaç asırlık dut ağacı. (<http://www.borhaber.net/bor-nigde/borda-birkac-asirlik-dut-agaci-h14306.html>) (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2015. 2600 yaşında karadut ağacı. (<http://www.gulshir.org.tr/2600-yasinda-karadut-agaci/448/>) (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2016. Karadut, Hasankeyfli ailelerin geçim kaynağı. (<http://www.hurriyet.com.tr/karadut-hasankeyfli-ailelerin-gecim-kaynagi-37285612>) (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2017a. Dalından sofraya karadut. (<https://www.milliyet.com.tr/yemel-haberler/bitlis/dalindan-sofraya-karadut-12236219>) (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2017b. 700 yıllık ağaç. (<http://www.siirtte.net/700-yillik-agac/>) (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2017c. Yozgat'ta 2 bin 600 yıllık dut ağaçları taze meyve veriyor. (<http://www.hurriyet.com.tr/yozgatta-2-bin-600-yillik-dut-agaclari-taze-me-40557719>). (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2018. 850 yaşındaki karadut ağacı hâlâ meyve veriyor. (<http://beyazgazete.com/haber/2018/1/2/850-yasindaki-karadut-agaci-h-l-meyve-veriyor-4257939.html>) (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2019. Ayaş'ta ilginç bir dut ağacı (<http://www.sadikerik.com/prof-dr-sadik-erik-makaleler/114-ayasta-iliginc-bir-dut-agaci.html>). (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2020. Eldivan Gölez köyü. (<https://www.koylerim.com/eldivan-golez-koyu-331323h.htm>). (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Anonymous, 2021. Ankara Gökler Köyü. (<https://www.ankaramasasi.com/haber/954160/ankaranin-ayas-ilcesindeki-dut-agaci-efsanelere-konu-oluyor>) (Erişim tarihi: Ağustos 2021).
- Arnan, X., B. C. López, J. Martínez-Vilalta, M. Estorach & R. Poyatos, (2012). The age of monumental olive trees (*Olea europaea*) in northeastern Spain. *Dendrochronologia*, 30(1): 11-14. DOI: [10.1016/j.dendro.2011.02.002](https://doi.org/10.1016/j.dendro.2011.02.002)
- Aubaile, F., 2012. Pathways of diffusion of some plants and animals between Asia and the Mediterranean region. *Revue d'ethnoécologie* 1. <https://doi.org/10.4000/ethnoecologie.714>
- Balık, A., M.K. Gecer & R. Aslantaş, 2019. Diversity of biochemical content in fruits of some indigenous mulberry genotypes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 43(1): 28-35. <https://doi.org/10.3906/tar-1806-69>
- Badenes, M. L. & D. H. Byrne (Eds.). (2012). *Fruit breeding* (Vol. 8). Springer Science & Business Media.
- Barat, A. & T. Özcan, 2016. Fermente süt içeceğinde probiyotik bakterilerin gelişimi üzerine meyve ilavesinin etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 53(3): 259-267. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.389331>
- Basavaiah, S., B. Dandia, A. Dhar & K. Sengupta, 1990. Meiosis in natural decosaploid (22x) *Morus nigra* L. *Cytologia*, 55(3): 505-509. <https://doi.org/10.1508/cytologia.55.505>
- Browicz, K., 2001. Where is the place of origin of *Morus nigra* (*Moraceae*)?. *Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica*, 45(1/2): 273-280.
- CABI, 2019. *Morus nigra* (black mulberry). (<https://www.cabi.org/isc/datasheet/34830>). (Erişim tarihi: Temmuz 2021).
- Campbell, T.R., 1949. *A Dictionary of Assyrian Botany*. The British Academy. London, 405 pp.
- Can, A., A. Kazankaya, E. Orman, M. Gundogdu, S. Ercisli, R. Choudhary, & R. Karunakaran, 2021. Sustainable Mulberry (*Morus nigra* L., *Morus alba* L. and *Morus rubra* L.) Production in Eastern Turkey. *Sustainability*. 13(24), 13507. <https://doi.org/10.3390/su132413507>
- Cherubini, P., T. Humbel, H. Beeckman, H. Gaertner, D. Mannes, C., Pearson, W. Schoch, R. Tognetti & Lev-Yadun, S. (2013). Olive tree-ring problematic dating: a comparative analysis on Santorini (Greece). *PLoS one*, 8(1): e54730. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054730>
- Crane, H., 1993. Evliya Çelebi's journey through the Pamphylian Plain in 1671-72. *Muqarnas*, 10: 157-168.
- Cui, W. S., Q. Zhang & X.H. Zhao, 2020. Impact of heat treatment on anti-oxidative and anti-colon cancer activities of the soluble extracts from black mulberry (*Morus nigra* L.) using water and ethanol-water solvents. *RSC Advances*, 10(51): 30415-30427. <https://doi.org/10.1039/D0RA05598K>
- Elmacı, Y., & T. Altug, 2002. Flavour evaluation of three black mulberry (*Morus nigra*) cultivars using GC/MS, chemical and sensory data. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(6): 632-635.
- Ercişli, S., & E. Orhan, 2008. "Some physico-chemical characteristics of black mulberry (*Morus nigra* L.) genotypes from northeast Anatolia region of Turkey". *Scientia Horticulturae*. 116, 41-46.
- Ercişli S., M. Tosun, B. Duralija B, S. Voća, M. Sengul & M. Turan, 2010. Phytochemical content of some black (*Morus nigra* L.) and purple (*Morus rubra* L.) mulberry genotypes. *Food Technology and Biotechnology*, 48(1): 102-106.
- Erden, Y., 2021. Sour black mulberry (*Morus nigra* L.) causes cell death by decreasing mutant p53 expression in HT-29 human



- colon cancer cells. Food Bioscience, 42: 101113. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101113>
- Erdoğan, Ü. & R. Çakmakçı, 2006. "Yukarı Çoruh Vadisinin'de yetiştirilen dutların bazı fenolojik ve pomolojik özelliklerinin belirlenmesi, 193-198". II. Üzümsü Meyveler Sempozyumu (14-16 Eylül 2006, Tokat) Bildirileri, Nobel Akademik Yayıncılık, 385 s.
- Ersus, S., M. Çetiner, N. Hayatioğlu & A. Hepçimen, 2021. Production of pomegranate snacks as affected by different pre-treatments. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 58(1): 17-24. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.723460>
- Farr, D.F., G.F. Bills, G.P. Chamuris & A.Y. Rossman, 1989. Fungi on plants and plant products in the United States. APS Press. St. Paul. 804 pp.
- Grieve, M., 1931. A modern herbal., Vol. 2., I-Z. London, UK: Jonathan Cape.
- Gürcan, K., S. Turan, S. Teber, İ. Kılınçer, İ. Uz, L. Tamisier, S. Massart, K. & Çağlayan, 2021. Molecular and biological characterization of a new mulberry idaeovirus. *Virus Research*, 298, p.198411.
- İslam, A., A. Turan, T. Şişman, H. Kurt & A. Aygün, 2006. "Giresun Şebinkarahisar'da dut seleksiyonu". II. Ulusal Üzümsü Meyve Sempozyumu (14-16 Eylül 2006, Tokat) Bildirileri, Nobel Akademik Yayıncılık, 385 s.
- İslam, A., O. Karakaya, S. Gün, S. Karagöl & B. Öztürk, 2020. Seçilmiş karayemiş genotiplerinin meyve özellikleri ile biyokimyasal bileşiklerin karakterizasyonu. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 57(1): 105-110. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.601390>
- Ismaili, H., & Z. Veshaj, (2014). Determining the Age of Olive Trees through Morphometric Methods. International Journal of Agriculture Innovations and Research, 3(2): 574-578.
- Janick, J., (2005). The origins of fruits, fruit growing, and fruit breeding. Plant breeding reviews, 25(25): 5-320.
- Jaiswal, V. S., & A. Kumar, (1980). Sex reversal and fruit formation on the male plants of *Morus nigra* L. by 2-chloroethylphosphonic acid. Journal of Experimental Botany, 31(2), 497-500. <https://doi.org/10.1093/jxb/31.2.497>
- Kafkas, S., M. Özgen, Y. Doğan, B. Özcan, S. Ercişli & S. Serçe, 2008. Molecular characterization of mulberry accessions in Turkey by AFLP markers. Journal of the American Society for Horticultural Science, 133(4): 593-597. <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.4.593>
- Kara, Ş., and E. A. Ercelebi, 2013. Thermal degradation kinetics of anthocyanins and visual colour of Urnu mulberry (*Morus nigra* L.). Journal of Food Engineering: 116(2): 541-547. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.030>
- Koyuncu, F., 2004. Morphological and Agronomical Characterization of Native Black Mulberry (*Morus nigra* L.) in Sütçüler, Turkey. Plant Genetic Resources Newsletter, 138: 32-35.
- Koyuncu, F., M.A. Koyuncu & F. Yıldırım, 2004. Evaluation of black mulberry (*Morus nigra* L.) genotypes from Lakes Region, Turkey. European Journal of Horticultural Science, 69(3): 125-131. <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.4.593>
- Kutlu, T., G., Durmaz, B., Ateş, I Yılmaz., & M. Ş. Çetin, 2011. Antioxidant 48 properties of different extracts of black mulberry (*Morus nigra* L.). Turkish Journal of Biology, 35(1): 103-110.
- Lim, S.H. & C. Choi, 2019. Pharmacological properties of *Morus nigra* L. (black mulberry) as a promising nutraceutical resource. Nutrients, 11(2): 437. <https://doi.org/10.3390/nu11020437>
- Newton C., T. Gonon & M. Wuttmann, 2005. Un jardin d'oasis d'époque romaine à 'Ayn Manâwir (Kharga, Egypte). Bulletin de l'Institut français d'archéologie orientale. 105: 167-195.
- Okatan, V., M. Polat & A. Aşkın, 2016. Some physico-chemical characteristics of black mulberry (*Morus nigra* L.) in Bitlis. Scientific Papers-Series B, Horticulture. 60: 27-30.
- Orwa, C., A. Mutua, R. Kindt, R. Jamnadas & S. Anthony, 2009. Agroforestry database: a tree reference and selection guide version 4.0 (<http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabase.asp>). (Erişim tarihi: Temmuz 2021).
- Özgen, M., M. Güneş, Y. Akça, C. Kaya, N. Türemiş, S. Serçe, Ü. Erdoğan, M. Ilgın, G. Kızılcı, S. Ercişli & A. Eşitken (2008). Ülkemizde selekte edilmiş ümitvar karadut (*Morus nigra* L.) ve kırmızı dut (*Morus rubra* L.) genotiplerinin fitokimyasal ve antioksidan içeriklerinin belirlenmesi ile kolleksiyon bahçelerinin kurulması. TÜBİTAK TOVAG Proje Sonuç Raporu. Proje No: 106O102. 54 s. (<http://www.cabi.org/isc/FullTextPDF/2013/20133109119.pdf>) (Erişim tarihi: Temmuz 2021).
- Ricker, M., G.Gutiérrez-García, D., Juárez-Guerrero, & M. E. Evans, (2020). Statistical age determination of tree rings. PloS one, 15(9): e0239052. DOI:10.1371/journal.pone.0239052
- Sánchez-Salcedo, E.M., P. Mena, C. García-Viguera, F. Hernández & J. Martínez, 2015. (Poly)phenolic compounds and antioxidant activity of white (*Morus alba*) and black mulberry (*Morus nigra*) leaves: Their potential for new products rich in phytochemicals. Journal of the Institute of Science and Technology, 18(Part B): 1039-1046. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.03.053>
- Sümerli, S. & A. Kazankaya, 2020. Batman merkez ilçede yetiştirilen dut türlerinin fenolojik, pomolojik ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 30(Ek sayı (Additional issue)): 874-881. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.722167>
- Sütyemez, M., 2021. Kahramanmaraş Ekolojik Şartlarında Karadutun (Urnu dut) Morfolojik, Fenolojik ve Pomolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Turkish Journal of Agricultural and Natural Science, 8(3): 686-692.
- Tikader, A., K. Vijayan, M. K. Raghunath, S. P. Chakroborti, B. N. Roy, & T. Pavankumar, (1995). Studies on sexual variation in mulberry (*Morus* spp.). Euphytica, 84(2): 115-120. <https://doi.org/10.1007/BF01677948>
- Vijayan, K., A. Tikader, P.K. Kar, P.P. Srivastava, A.K. Awasthi, K. Thangavel & B. Saratchandra, 2006. Assessment of genetic relationships between wild and cultivated mulberry (*Morus*) species using PCR based markers. Genetic Resources and Crop Evolution. 53(5): 873-882. <https://doi.org/10.1007/s10722-004-6148-3>
- Vivarelli, L. & S. Alvisi, 1934. An historical note on the mulberry species *M. nigra* and *M. alba*. Italia Agricola, 71: 187-193.
- Wiersema, J.H. & B. León. 1999. World Economic Plants: A Standard Reference. CRC Press. Florida, USA. 297 p. <https://doi.org/10.1201/9781482274431>
- Yılmaz, K.U., Y. Zengin, S. Ercişli, M.N. Demirtas, T. Kan & A.R. Nazli, 2012. Morphological diversity on fruit characteristics among some selected mulberry genotypes from Turkey. Journal of Animal and Plant Sciences, 22(1): 211-214.





# Yapı Malzemelerine Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Bütüncül Bir Bakış: Duvar Malzemelerinin Çevresel Etkilerinin ve Enerji Performansının Belirlenmesi

Feride Çiğdem Kara<sup>1</sup>, Merve Tuna Kayılı<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Karabük, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2876-7700), [fcigdemkara@gmail.com](mailto:fcigdemkara@gmail.com)

<sup>2\*</sup> Karabük Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Karabük, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3803-8229), [mervetunakayili@karabuk.edu.tr](mailto:mervetunakayili@karabuk.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 27 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 16 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1015367)

**ATIF/REFERENCE:** Kara, F. Ç. & Tuna Kayılı, M. (2021). Yapı Malzemelerine Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Bütüncül Bir Bakış: Duvar Malzemelerinin Çevresel Etkilerinin ve Enerji Performansının Belirlenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 583-593.

## Öz

Yapı sektörü malzeme ve enerji kaynaklarının büyük bir kısmını tüketirken, sektörün çevreye etkileri de tüketimle aynı oranda gerçekleşmektedir. Bu bağlamda, yapı malzemelerinin sürdürülebilirlik bağlamında ele alınması durumunda, hem enerji performansı hem de çevreye etkilerini ele alan bütüncül bir bakış açısıyla irdelenmesi, yapının tasarım evresinde gerçekleşen malzeme seçiminin daha doğru ve rasyonel olması için önemlidir. Çalışma kapsamında duvar konstrüksiyonlarında kullanılan tuğla, gazbeton ve bims bloğun çevresel etkileri ve yapının kullanım evresindeki enerji performansına ve kabuğun ısı kütle özelliğine etkileri Safranbolu'da inşa edilmiş bir toplu konut projesi üzerinden irdelenmiş ve duvar malzemeleri sürdürülebilir mimarlık bağlamında bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Çalışma sonucunda, tuğlanın gazbeton ve bims bloğa göre üretim sürecindeki yüksek ısı enerjisi gereksinimi nedeniyle çevresel etkileri daha fazla olmasına karşın yapının enerji performansını ve kabuğun ısı depolama kapasitesini artırdığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tuğla, Gazbeton, Bims blok, Çevresel etki, Enerji performansı, Isıl kütle

## A Holistic View on Building Materials in the Context of Sustainable Architecture: Determining the Environmental Impact and Energy Performance of Wall Materials

### Abstract

While the construction sector consumes a large part of material and energy resources, its effects on the environment occur at the same rate as consumption. In this context, if building materials are handled in the context of sustainability, it is important to examine both energy performance and environmental effects from a holistic perspective, so that the material selection realized during the design phase of the building is more accurate and rational. Within the scope of the study, the environmental effects of brick, aerated concrete and pumice block used in wall constructions and their effects on the energy performance of the building and the thermal mass of the shell were examined through a mass housing project built in Safranbolu and the wall materials were discussed from a holistic perspective in the context of sustainable architecture. As a result of the study, it has been determined that although the brick has more environmental effects due to the high heat energy requirement in the production process compared to aerated concrete and pumice blocks, it increases the energy performance of the building and the heat storage capacity of the shell.

**Keywords:** Brick, Aerated concrete, Pumice block, Environmental Impact, Energy performance, Thermal Mass

\* Sorumlu Yazar: [mervetunakayili@karabuk.edu.tr](mailto:mervetunakayili@karabuk.edu.tr)

## 1. Giriş

Yapılar, malzeme kaynaklarının %30'unu, enerji kaynaklarının %40'ını tüketmekte ve CO<sub>2</sub> salımının da %36'sından sorumlu tutulmaktadır (European Commission Energy Department, 2020). Bu bağlamda yapı ve yapı malzemeleri sürdürülebilirlik bağlamında ele alındığında, hem enerji tüketimi hem de çevresel etkileri içeren bütüncül bir bakış açısıyla irdelenmelidir. Binaların yapım sürecinde, malzeme çıkarım aşamasından başlanarak yapım, kullanım ve kullanım sonrası evreye kadar enerji tüketilmekle birlikte çevreye çeşitli açılardan zarar verilmektedir. Enerji analizlerinin ya da çevresel etkilerin tek başına ele alınması, tüm aşamalardaki tüketimleri ifade etmekte yetersiz kalmaktadır. Bu bağlamda, çevreye daha az zararlı kabul edilen bir malzemenin enerji performansının da göz önünde bulundurulması ile daha sürdürülebilir bir yaklaşıma kapı açmaktadır.

Yapıların çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için kullanılan yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) yöntemi, yapının tüm evrelerini detaylı olarak ele alan sistematik bir yöntemdir (Alkaya vd., 2012). Bu yöntem, yapı malzemelerinin hammadde çıkarım aşamasından başlayarak üretim, taşıma, kullanım süreci, ardından kullanım sonrası bertaraf edilme yöntemine kadar incelemektedir. Hava, su ve toprak kirlenmesini göz önüne alarak küresel ısınma, kaynakların tükenmesi, ozon tabakasının tahribi, ötrofikasyon, asidifikasyon ve zehirli salımlar gibi çeşitli çevresel etki kategorilerinde değerlendirme yapmaktadır (Özdemir, 2019). Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemiyle bir konutun ele alınması, yapıyı oluşturan parçalarda üretim teknolojilerinin yanlış seçimi, doğal kaynakların bilinçsiz kullanımı, üretim ve yapının çevrede atık yığınları oluşturması gibi meydana gelen çevresel etkilerini yapının her aşamasında ortaya koymaktadır (Tuna Taygun, 2005). Bu yöntemin kullanılması ile yapı malzemelerinin çevreye verdikleri zararın azaltılması ve çevresel etkisi daha az olan malzemelerin tercih edilmesi sağlanabilmektedir (Karaman Öztaş ve Tanaçan, 2015).

YDD yöntemi ile kalıplaşmış anlayışların yanlış olduğuna yönelik çarpıcı sonuçlar elde edilebilmektedir. Betonarme sistem ve ahşap iskelet sisteminin gömülü karbon değeri bakımından kıyaslandığı bir çalışmada, betonarme sistemin üretim evresinde daha yüksek gömülü karbon değeri tespit edilirken, yaşam boyu değerlendirme sonucunda gömülü karbonu %34 değerinde azalttığı belirtilmektedir (Monahan ve Powell, 2011). Yine yün halı ile naylon halının çevresel etkilerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, yün halının üretim sürecinde kullanılan yüksek ağartıcılar nedeniyle naylon halıya göre daha fazla çevresel etkiye sahip olduğu tespit edilmektedir (Tuna Kayılı ve Çelebi, 2015). Ayrıca kullanım evresinde ise iç mekân hava kalitesinin artırılmasına yönelik, iç mekân kirleticilerini absorblama özelliği nedeniyle yün halının tercih edilmesi gerektiği belirtilmektedir (Katsoyiannis vd., 2006).

Yapının enerji performansı da çevresel etkilerle birlikte göz önünde bulundurulması gereken bir konudur. Atmosfere salınan sera gazının %50'sinden binalarda kullanılan enerji tüketimi sorumlu tutulmaktadır (UNFCCC, 2020). Duvar/pencere oranı, yönlenme, camlı yüzeylerin güneşten yararlanma oranı gibi parametrelerin yanı sıra yapılarda kabuk bileşenlerinin ısı iletkenlik değerlerinin azaltılması ile yapının ısıtma ve soğutma yükünün azaltılması mümkündür (URL 1). Yalıtımsız farklı duvar konstrüksiyonları, benzer enerji performans sonuçları vermekle birlikte, dolu tuğla, hafif tuğla, gazbeton içeren farklı duvar

kesitlerine yalıtım eklenerek ısı kayıplarının azaltılmasıyla enerji performansının iyileştirilebildiği bilinmektedir (Sezer ve Dilmaç, 2014).

Yapılarda seçilen malzemelerin ısı depolama özellikleri de yapının ısı kütlesi kullanımı açısından önemlidir. Taş, tuğla ve beton gibi ağır konstrüksiyon malzemeleri yüksek ısı depolama kapasiteleri nedeniyle yapıda uygulandıklarında, ısı kütleden kaynaklanan faz erteleme ve genlik küçültme özelliği sayesinde yapının ısı konforunun devam ettirilmesinde ve enerji performansının artırılmasında önemli bir katkı sağlamaktadır (Konuklu ve Paksoy, 2011). Bu anlamda malzemelerin ısı ve çevresel anlamda bütüncül olarak ele alınması, yapının kullanım evresindeki enerji kullanımının ve çevresel etkilerinin azaltılması açısından çok önemlidir. Yapının çevresel etkilerinin belirlenmesinde, kullanım evresindeki enerji performansını etkileyen tasarım kararlarının rolü büyüktür. Bu bağlamda tasarım evresinde malzeme seçimi yapılırken, çevresel etkileri ile birlikte kullanım evresindeki enerji performansına etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır.

Yapılarda çevresel etki ve enerji performansının bütüncül bir bakışla ele alındığı çalışmalar mevcuttur. Yeşil cephe ve yeşil duvar sistemlerinin yapının çevresel ve enerji performansına etkisinin araştırıldığı çalışma (Châfer vd., 2021), kenaf bitkisinin sürdürülebilir bir yalıtım malzemesi alternatifi olarak ve bu malzemenin enerji performansı ve çevresel etkilerinin sunulduğu çalışma (Ardente vd., 2008), sürdürülebilir bir yapı inşası için 6 farklı pasif tasarım senaryosunun enerji kullanımı ve çevresel etki bağlamında değerlendirildiği çalışma (Tushar vd., 2021) bu anlamda öne çıkan çalışmalar olarak sayılabilmektedir. Pasif evlerin çevresel etkilerinin kanıtlanmış olduğu kabul edilip kullanıcı etkilerinin enerji performansına katkılarını ele alan çalışma (Peuportier vd., 2013) olduğu gibi, enerji performansı ve çevresel etkiyi içeren bu bütüncül bakış açısının sürdürülebilir bina tasarımı için bir karar verme aracı olarak görülebileceğini belirten (Chau vd., 2015) çalışmalar da bulunmaktadır. Yapıda enerji performansı ve çevresel etkilerin değerlendirilmesinin yanı sıra, yapının kent içerisindeki sosyolojik konumunu da ele alarak mevcut yapıların ve gelecekte tasarlanacak yapıların iyileştirilmesi için bina performansının disiplinlerarası daha geniş bir ölçekte ele alındığı çalışma (Pannier vd., 2021) da bulunmaktadır.

Türkiye'de yapılarda çevresel etki ve enerji performansı değerlendirme çalışmaları incelendiğinde, bu iki etkinin bir arada ele alınmasından ziyade bir konuya odaklanan çalışmalara rastlanmaktadır (Yıldız vd., 2008; Özutku ve Karakuş; Yıldız, vd., 2011). YDD üzerine yapılan çalışmalar Türkiye'de genellikle literatür taraması olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun en önemli sebebi ise Türkiye'de yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları için veri eksikliğinden kaynaklanmaktadır (Benli Yıldız vd., 2020). Yaşam döngüsü veri araçlarından daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmesi için yapı malzemelerinin üretim sektörüne daha yakın veriler içermesi gerekmektedir (Rajagopalan vd., 2010).

Yaşam döngüsü değerlendirme yönteminin malzeme ölçeğinde ele alındığı çalışmalar incelendiğinde, yalıtım malzemesi üzerinde oldukça durulduğu görülmektedir (Llantoy vd., 2020; Ata-Ali vd., 2021; Dylewski ve Adamezyk, 2013). Son zamanlarda sürdürülebilirlik kavramının önem kazanmasıyla, yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları artış göstermiştir (Colangelo vd., 2021; Ding, 2013; Bianco vd., 2021; Hossain vd., 2017; Manjunatha vd., 2021). Bunun yanı sıra cephe kaplama malzemeleri (Hesser, 2015; La Rosa vd., 2021; Yılmaz vd., 2019);

yol kaplama malzemeleri (Thiel vd., 2013; Bai vd., 2021; Jullien vd., 2019), cam (Salazar, 2013), stabilize killi malzemeler (Marcelino-Sadaba vd., 2017), çelik ve ahşap strüktür üzerine (Morris vd., 2021; Wu vd., 2020) birçok çalışma yapılmıştır.

Duvar malzemeleri üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, iç mekân bölücü duvarları üzerine yapılan bir çalışmada duvar malzemeleri olan tuğla, bims ve alçıpan ile oluşturulan duvarların A1-A5 evrelerinde çevresel etkileri karşılaştırılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda alçıpanın çelik saplama malzemeleri nedeniyle en yüksek çevresel etkiye sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca bimste kullanılan çimentonun, tuğlada kullanılan pişirme işleminin çevresel etkileri arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır (Valencia-Barba vd., 2019). İç mekân bölücü duvarları üzerine yapılan bir çalışmada 44 ayrı duvarın A1-A5 evrelerindeki duvar katmanlarının çevresel etkileri incelenmiştir. Oluşturulan alternatiflerde akustik yalıtım, ısı yalıtımı, yangına dayanıklılık ve mekanik dayanım gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Elde edilen sonuçlarda duvar yapım malzemesinin %48 ile en büyük etki değerine sahip olduğu oranı tespit edilmiştir (Valencia-Barba vd., 2021). Çalışmalardan elde edilen sonuçlar duvar yapım malzemesinin tasarım aşamasında doğru seçiminin yapının çevresel etkisinin azaltılmasındaki önemini ortaya çıkarmaktadır.

Bu bağlamda yapılan çalışmada, duvar malzemelerinin çevresel etkilerinin belirlenmesi ve seçilen malzemelerin yapının kullanım evresindeki enerji performansına etkisinin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Malzemelerin çevre ve enerji performansına etkilerinin belirlenmesi, Safranbolu TOKİ konutları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın özgün değeri tuğla, gazbeton ve bims malzemelerinin çevresel ve enerji performanslarını bütüncül olarak ele almasıdır. Elde edilen sonuçların mimarlara, malzeme üreticilerine ve karar vericilere yapının tasarım evresinde malzeme seçimi bağlamında yol gösterici olması beklenmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Duvar Malzemeleri

Çalışma kapsamında duvar dolgu malzemeleri olan tuğla, gazbeton ve bims bloğun çevresel ve yapının enerji performansına etkileri konut birimi üzerinden belirlenmiştir. Duvar konstrüksiyonlarının oluşturulmasında seçilen duvar malzemelerinin özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Seçilen duvar malzemelerinin özellikleri

Malzemeler	Isıl İletkenlik Hesap Değeri W/(m.K)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
Bims	0.23	1070
Tuğla	0.54	1550
Gazbeton	0.21	580

Çalışmada seçilen malzemelerin aynı koşullarda çevresel etkilerinin belirlenmesine yönelik ihtiyaç duyulan duvar katmanı için Safranbolu Kirkille TOKİ konutları seçilmiştir. Aynı ısı iletim katsayısına sahip duvar konstrüksiyonunda yer alan tuğla, gazbeton ve bims bloğun çevresel etki değerleri karşılaştırılmıştır.

### 2.2. TOKİ Konutları

Duvar malzemelerinin çevresel ve enerji performansına etkilerinin belirlenebilmesi için Safranbolu Kirkille TOKİ konutları seçilmiştir. Çalışmada toplu konut yapısının seçilme nedeni, toplu konutların yüksek inşa edilme oranları ve geleceğe dönük yapı iyileştirmelerinde ön sırada (Ingrao vd., 2018) yer almalarıdır.

Karabük’ün Safranbolu ilçesinde yer alan Kirkille TOKİ konutlarının yapımı 2019 yılında tamamlanmıştır. Yöresel mimariye uyumlu olma amacı taşıyan bu yapılar (Şekil 1), 2+1 ve 3+1 olarak inşa edilmiştir. 579 konuttan 417’si 2+1, 162’si 3+1 olması sebebiyle, bu çalışmada 2+1 daire ele alınmıştır. Ele alınan daire 79.80m<sup>2</sup> brüt alana sahip olup, şematik kat planı Şekil 2’de verilmiştir.



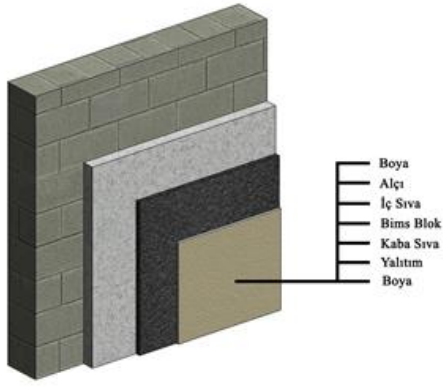
Şekil 1. Safranbolu Kirkille TOKİ toplu konutları (URL 2)



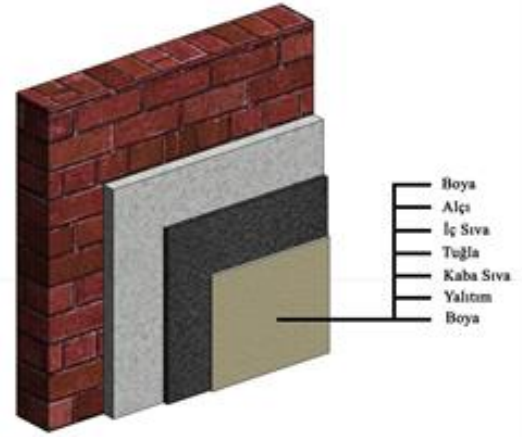
Şekil 2. Kısmi plan şeması

Konutların inşa aşamasında duvar malzemesi olarak bims blok kullanılmıştır. Çalışmada yapının mevcut duvar konstrüksiyonuna alternatif olarak gazbeton ve tuğla ile oluşturulan konstrüksiyonlar önerilmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. Yapının duvar katmanlarını gösteren grafik Şekil 3’te verilmiştir.





Şekil 3. Mevcut duvar katmanları (Bims blok)



Şekil 4. Tuğla ile oluşturulan duvar katmanları

### 2.3. Duvar Malzemelerinin Kalınlığına Karar Verilmesi

Seçili duvar malzemelerinin çevresel performansının belirlenmesinde kalınlığın rolü büyüktür. Bu bağlamda performans hesaplamalarında aynı ısı iletkenlik değerine sahip duvar katmanlarının değerlendirilmesine karar verilmiş, dolgu malzemesi dışında kalan diğer katmanlar sabit tutulup duvar dolgu malzemeleri çeşitlendirilmiştir. Bu bağlamda, Şekil 3'te verilen mevcut duvar katmanları üzerinden kabuğun ısı iletim katsayısı (U değeri) TS 825'te belirtilen Eşitlik 1 ve 2 yardımıyla hesaplanmış ve ısı iletim katsayısı  $0.27 \text{ W/m}^2\text{K}$  olarak belirlenmiştir. Karabük ili Safranbolu ilçesi 3. Derece gün bölgesinde yer aldığından, belirlenen değerin TS825'e göre önerilen duvar ısı iletim katsayısına uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle tuğla ve gazbetondan oluşturulacak alternatif duvarlar için de ısı iletim katsayısı  $0.27 \text{ W/m}^2\text{K}$  olacak şekilde oluşturulmuş, tuğla ve gazbeton dışında kalan katmanların kalınlıkları her duvarda sabit kalacak şekilde düzenlenmiştir. Düzenlenen alternatif duvarlara ait grafikler Şekil 4 ve 5'te, katman kalınlıkları ise Tablo 2'de verilmiştir.

$$R = (d_1 / \lambda_{h1}) + (d_2 / \lambda_{h2}) + \dots + (d_n / \lambda_{hn}) \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

R= Çok tabakalı yapı bileşenlerinde ısı geçirenlik direnci  
 $d_1, d_2, \dots, d_n$ = Yapı malzemesi kalınlıkları  
 $(\lambda_{h1}, \lambda_{h2}, \dots, \lambda_{hn})$ = Yapı malzemelerinin ısı iletkenlik hesap değerleri

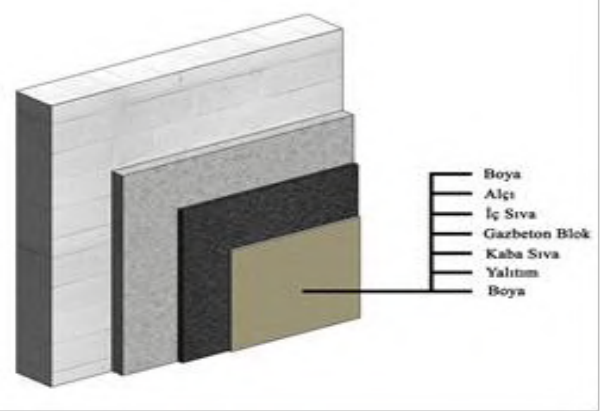
$$U = 1/R \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

U=Yapı bileşeninin toplam ısı geçirenlik katsayısı  
R= Çok tabakalı yapı bileşenlerinde ısı geçirenlik direnci

Tablo 2. Duvar malzemelerinin kalınlıkları

Malzemeler	Isıl İletkenlik Hesap Değeri W/(m.K)	Kalınlık (m)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
Bims	0.23	0.20	1070
Tuğla	0.54	0.47	1550
Gazbeton	0.21	0.18	580



Şekil 5. Gazbeton ile oluşturulan duvar katmanları

### 2.4. Duvar Malzemelerinin YDD Yöntemi ile Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi

Duvar malzemelerinin çevresel etkilerinin belirlenmesinde YDD yöntemi kullanılmıştır. Yöntemi kullanırken, yapı Autodesk Revit Architecture programında modellenmiş (Şekil 6) ve çevresel etkisinin belirlenmesinde Tally eklentisi çalıştırılmıştır (Şekil 7). Tally GaBi veritabanı üzerinden çalışan, yapının beşikten mezara tüm evrelerinin çevresel etkilerini ortaya koyabilen bir arayüz olup, Autodesk Revit programı ile birlikte sıklıkla tercih edilip, hızlı sonuç verebilen bir yaşam döngüsü değerlendirme aracıdır (Najjar vd., 2017; Bueno ve Fabrico, 2018; Hasik vd., 2019; Tushar vd., 2021; Raposo vd., 2019).

Tuğla, gazbeton ve bims bloğun çevresel etkilerinin belirlenmesinde seçilen işlevsel birim ve hizmet ömürleri Tablo 3'te verilmiştir. YDD yöntemi ile bütün duvar konstrüksiyonlarının çevresel etkileri belirlenmiş ve konstrüksiyonu oluşturan malzemelerin ayrı ayrı çevresel etki değerlerine ulaşılmıştır. Bu bağlamda seçilen tuğla, gazbeton ve bimsblok duvar malzemelerinin duvar konstrüksiyonunun çevresel etki değerindeki katkısı da Şekil 9-13'te belirtilmiştir.

Tablo 3. Duvar malzemelerine yönelik YDD kriterleri

	Hizmet Ömrü (yıl)	İşlevsel Birim
Malzemeler	60	m <sup>2</sup>

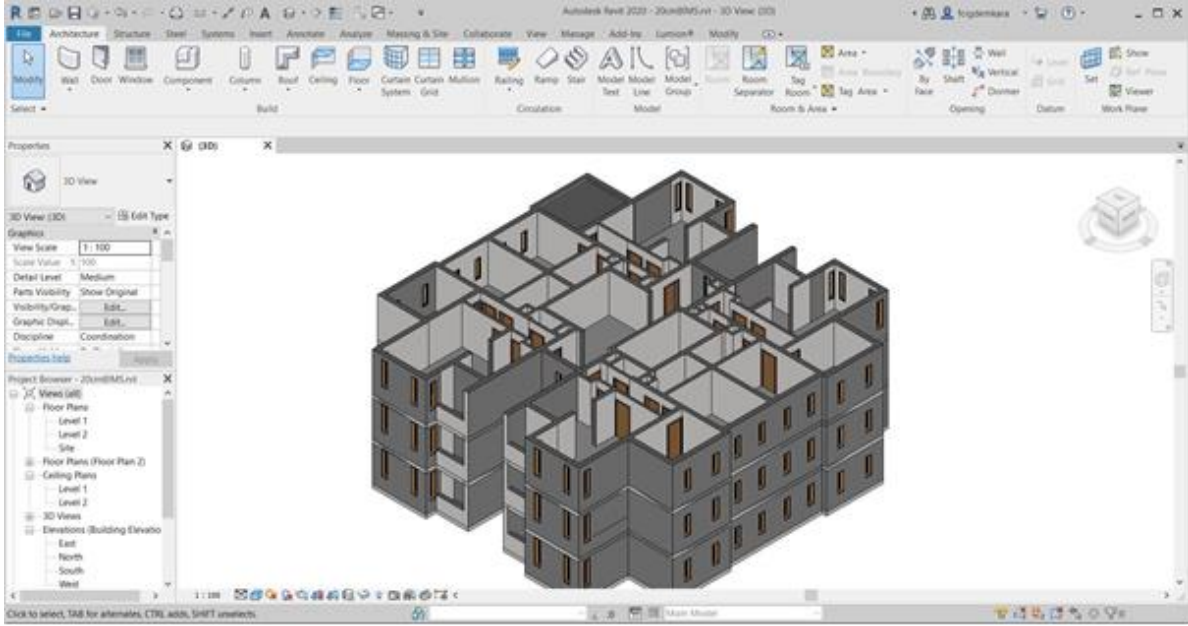
Duvar malzemelerinin çevresel etkilerinin belirlenmesinde A1-A3 evreleri olan ürün evresi ile inşaat evresinin A4 evresi ele



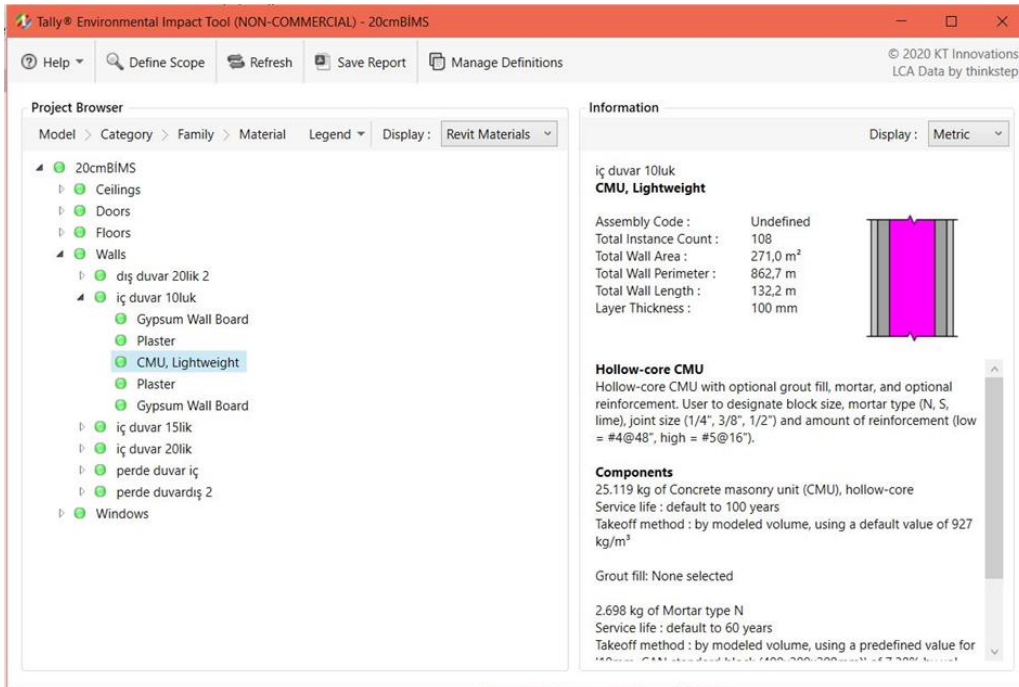
alınmıştır (Şekil 8). Çalışmaya A4 evresinin eklenme nedeni, çevresel etki değerlendirmelerinde ürünün şantiyeye taşınması evresinin göz ardı edilmesi durumunda büyük oranda çevresel etki görmezden gelinebilmekte (Murmu ve Patel, 2018; Buyle vd., 2013), ayrıca yüksek nakliye giderleri ile karşılaşılabilir. Bu nedenle çevresel etki değerlendirmelerinde A4 evresinin özellikle ele alınması gerekmektedir.

Yapı malzemelerinin A4 evresindeki çevresel etkileri, ürünlerin şantiye evresine getirilmesinde oluşan CO<sub>2</sub> salımı ve

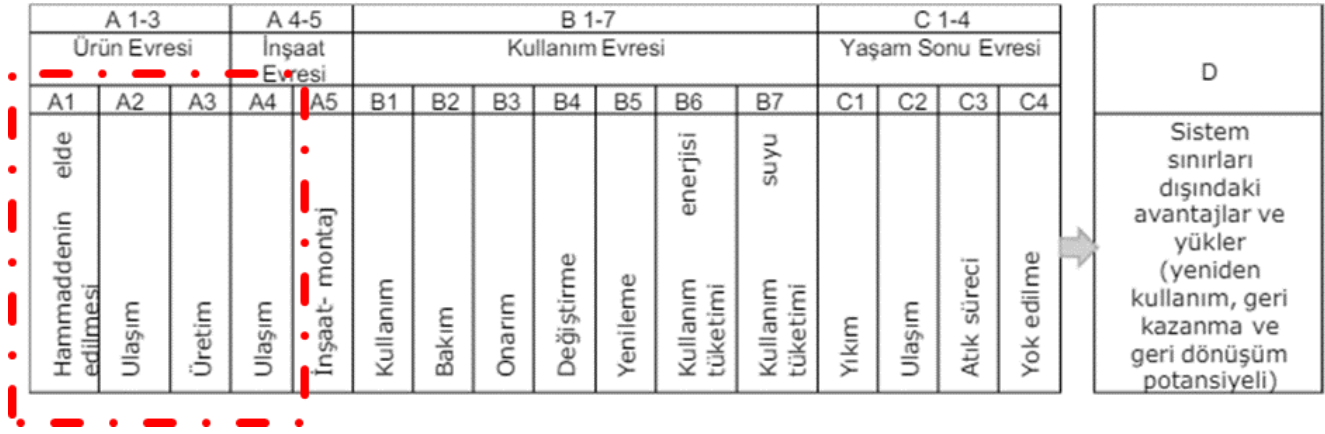
enerji tüketimi bağlamında değerlendirilmiştir. Malzemelerin üretim alanına taşınması sırasında gerekli enerji ve bu işlem sonucunda ortaya çıkan CO<sub>2</sub> salım değeri EN 16258'e göre EcoTransit World (Ecological Transport 62 Information Tool for Worldwide Transports) çevrimiçi hesaplama aracı kullanılarak belirlenmiştir (ecotransit.org, 2016). Malzemelerin fabrikadan şantiye alanına getirilmesinde kabul edilen fabrikalar ve uzaklıkları Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 6. Yapının Autodesk Revit Architecture programında modellenmesi



Şekil 7. Autodesk Revit Architecture programı Tally eklentisi arayüzü



Şekil 8. Çalışmada ele alınan yaşam döngüsü değerlendirme evreleri

Tablo 4. Duvar malzemelerinin varsayılan temin yeri ve mesafeleri

Malzemeler	Şehir	Firma	Mesafe
Tuğla	Bartın	Işıklar Tuğla	78.4 km
Bims	Ankara	KRS Blok	203 km
Gazbeton	Kırıkkale	AKG Gazbeton	249 km

YDD'de TRACI 2.1 karakterizasyon şeması seçilmiştir. Bu şemada malzemelerin;

- Küresel ısınma potansiyeli,
- Asidifikasyon potansiyeli,
- Ötrofikasyon potansiyeli,
- Fotokimyasal ozon gazı oluşumu,
- Ozon tabakasının tahribatı tespit edilebilmektedir.

## 2.5. Duvar Malzemelerinin Yapının Enerji Performansına Etkisinin Belirlenmesi

Duvar malzemelerinin yapının enerji performansına etkisi Design Builder programı kullanılarak belirlenmiştir. Bu alandaki gelişmiş ve güncel yazılımlardan biri olan ve ısıtma ve soğutma sistemlerini simüle eden Design Builder yazılımı binanın ısıtma, soğutma, aydınlatma, ev aletleri, su tüketimi gibi farklı enerji kullanımını dinamik olarak modelleme yeteneğine sahiptir (Tindale, 2005).

Duvar malzemelerinin yapının ısı kütlesine etkisinin belirlenmesinde EN ISO 13786'e göre hesaplama yapan HTflux ısı kütle hesaplama aracı kullanılmıştır. HTflux, ısı ve su buharı taşınımının iki boyutlu simülasyonu için kullanılan bir yazılımdır. HTflux tarafından geliştirilen bir yöntem olan GLASER 2d, bilinen ve kanıtlanmış Glaser yöntemini iki boyutlu geometrilere uygulayarak simülasyonlar oluşturulmasına olanak sağlamaktadır (URL 3).

## 3. Bulgular

Bu bölümde duvar konstrüksiyonlarının ve seçilen duvar malzemelerinin çevresel etki değerleri ve yapının enerji performansına etkisi verilmiştir.

### 3.1. Duvar Malzemelerinin Çevresel Etki Değerleri

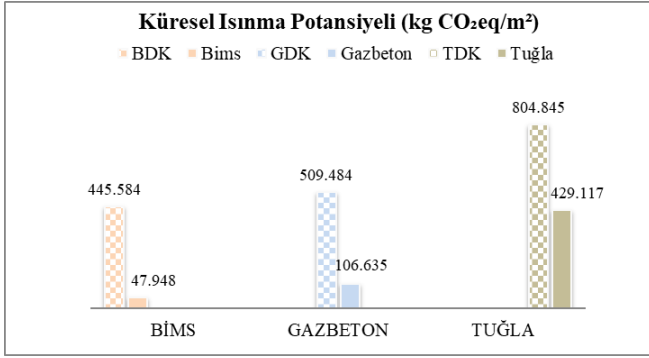
Çalışmada seçilen duvar malzemelerinin çevresel etkileri ve içinde yer aldığı duvar konstrüksiyonlarının çevresel etki değerlerindeki payı, ürün evresi (A1-A3) ve ulaşım evresi (A4) evresi olmak üzere ayrı ayrı verilmiştir.

### 3.1.1. A1-A3 Evresi

Küresel iklim değişikliği, uzun dönemli sıcaklık, yağış, rüzgâr gibi iklimsel faktörlerin değişimi olarak tanımlanmaktadır. Küresel ısınma, küresel iklim değişikliğinin bir çeşidi olmakla birlikte yüzeye yakın havanın ve okyanusların ortalama sıcaklığının da artmasıdır (Calkins, 2009). Küresel ısınmaya sera gazları neden olmaktadır. Sera gazları karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), azotoksit (NO<sub>x</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), sülfürheksaflorit (SF<sub>6</sub>), hidroflorokarbon (HFC), perklorokarbon ve kloroflorokarbonlar (CFC) olarak sayılabilmektedir. Ayrıca doğrudan küresel ısınmaya etkisi olmayan gazlar indirekt etkiyle yeryüzeyindeki ve stratosferik ozondaki sera gazı formunu etkilemektedir. Bunlar ise karbon monoksit (CO), azotoksitler (NO<sub>x</sub>) ve CH<sub>4</sub> içermeyen uçucu organik bileşiklerdir (NMVOCs). Fosil yakıtlar, yüksek basınç altında oluştuklarından karbondioksit içeriği yüksek yakıtlardır. Bu yakıtların kullanımı sonucunda büyük oranda CO<sub>2</sub> ve sera gazları açığa çıkmakta ve atmosfere karışmaktadır.

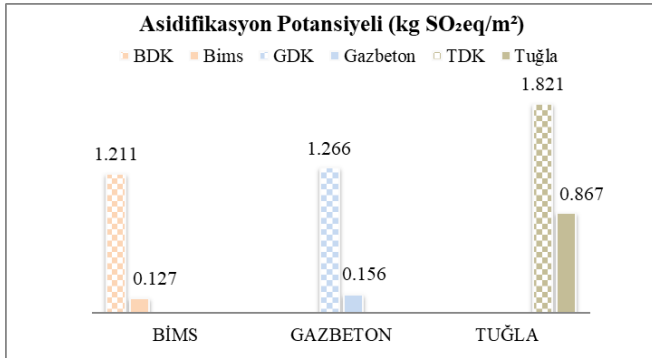
Tuğla, gazbeton ve bims bloktan oluşturulan duvar konstrüksiyonlarının A1-A3 evresindeki çevresel etki değerleri incelendiğinde, Şekil 9'da görülebileceği gibi en yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip duvar konstrüksiyonunun tuğla duvar konstrüksiyonu olduğu ve tuğlanın etki değerinin konstrüksiyonun etki değerindeki payının %53.31 olduğu tespit edilmiştir. Aynı ısı iletkenlik değerine (0.27 W/m<sup>2</sup>K) sahip duvar konstrüksiyonları içinde en düşük küresel ısınma potansiyeline sahip duvar konstrüksiyonu ise bims blok duvar konstrüksiyonudur. Konstrüksiyonun etki değerinde en az payı (%10.76) olan malzeme ise yine bims bloktur. Gazbetonun küresel ısınmada duvar konstrüksiyonu içerisindeki payı %20.92'dir. Tuğlanın üretimi esnasında açığa çıkan karbon salımlarının diğer duvar malzemelerine göre fazla olması, üretim sürecinde yüksek ısı enerjisi gerektirmesi ve bu enerjinin de fosil yakıtlardan sağlanması ile açıklanabilmektedir.

Asitleşme, sülfür ve nitrojen (asit gazları) bileşiklerinin suda çözünmesiyle su yüzeyine geçmesi ya da katı parçacıklar halinde toprağa bağlanmasıyla oluşmaktadır. Bu bileşikler ilk olarak asit yağmurları şeklinde kuru ya da ıslak çökeltme sürecinde ekosisteme ulaşmaktadır (Calkins, 2009). Büyük şehirlerdeki çok sayıda motorlu araçtan çıkan azot oksit salımları, fosil yakıt kullanımı, volkanlar ya da çürüyen bitki örtüsünden salınan sülfürdioksit ya da nitrojenoksit gazları da asit birikimine katkı yapmaktadır (Selici vd., 2005).



Şekil 9. Duvar konstrüksiyonları ve seçilen duvar malzemelerinin küresel ısınma potansiyeli

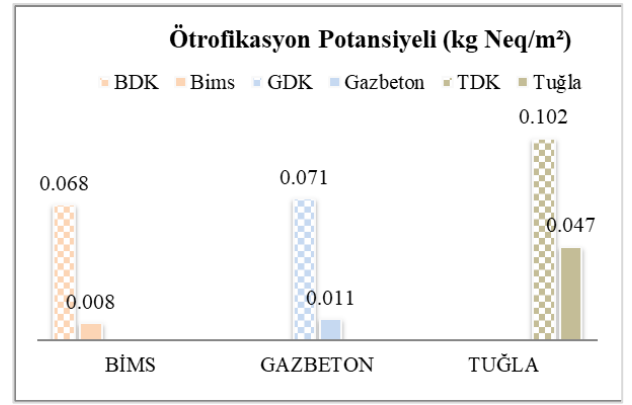
Şekil 10'da görülebileceği gibi en yüksek asidifikasyon potansiyeline sahip duvar konstrüksiyonunun tuğla duvar konstrüksiyonu olduğu ve tuğlanın etki değerinin konstrüksiyonun etki değerindeki payının %47.61 olduğu tespit edilmiştir. Duvar konstrüksiyonları, asidifikasyon potansiyeli özelinde etki değeri büyükten küçüğe doğru tuğla, gazbeton ve bimsblok duvar konstrüksiyonu olarak sıralanabilmektedir. Gazbeton ve bimsbloğun asidifikasyon potansiyelinde duvar konstrüksiyonu içerisindeki payı sırasıyla %12.32 ve %10.48'dir. Tuğlanın üretimi esnasında açığa çıkan asit gazlarının diğer duvar malzemelerine göre fazla olması, asidifikasyon potansiyelinde olduğu gibi üretim sürecinde yüksek ısı enerjisi gerektirmesi ve bu enerjinin de fosil yakıtlardan sağlanması ile açıklanabilmektedir.



Şekil 10. Duvar konstrüksiyonları ve seçilen duvar malzemelerinin asidifikasyon potansiyeli

Ötrofikasyon tatlı suların besin maddesi açısından zenginleşmesi ve bitki hayatının yüksek oranda gelişmesi ile sudaki ekolojik dengenin bozulması olarak tanımlanabilmektedir. Sınırlayıcı nütrient fosfor (P) ve antropojenik kaynaklardan bu elementlerin tatlı sulara geçişi, göllerin doğal yaşlanma sürecini hızlandırmaktadır. Bununla birlikte gelişen algler çözünmüş oksijeni önemli ölçüde tüketerek diğer canlıların ölümüne yol açabilmektedir (Kondalkar vd., 2019; Fan vd., 2019; Çiftçi ve Arslanoğlu, 2021).

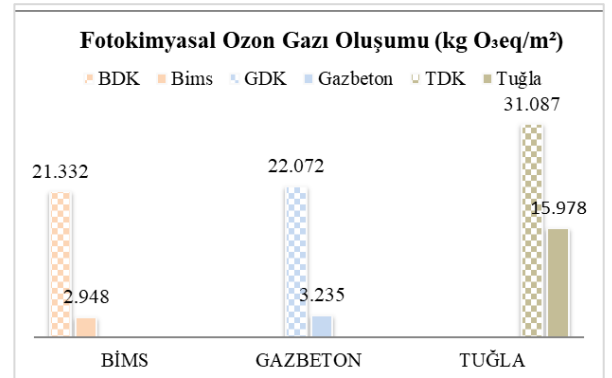
Şekil 11'de görülebileceği gibi duvar konstrüksiyonları ötrofikasyon potansiyeli özelinde incelendiğinde, etki değeri büyükten küçüğe doğru tuğla, gazbeton ve bimsblok duvar konstrüksiyonu olarak sıralanabilmektedir. Konstrüksiyonun etki değerinde en fazla payı (%46.07) olan malzeme ise yine tuğladır. Gazbeton ve bims bloğun ötrofikasyon potansiyelinde duvar konstrüksiyonu içerisindeki payı sırasıyla %15.49 ve %11.76'dır.



Şekil 11. Duvar konstrüksiyonları ve seçilen duvar malzemelerinin ötrofikasyon potansiyeli

Atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonlar güneş radyasyonunun başlangıcından itibaren farklı zamanlarda farklı aşamalarda seyretmektedir. Kent üzerinde sabah inversiyonunun etkisiyle yükselmemiş hidrokarbonlar, azot oksitler, metalik tozlar gibi hava kirleticiler bakımından zengin hava kütlelerinde kızıl-kahve renkli bir sis oluşmaktadır. Bu sis fotokimyasal ozon olarak tanımlanmaktadır. Araç egzozları, endüstriyel salımların oluşturduğu uçucu organik bileşikler ve nitrojen oksitlerin havaya karışmasıyla fotokimyasal ozon oluşmaktadır (Özcan vd. 2006).

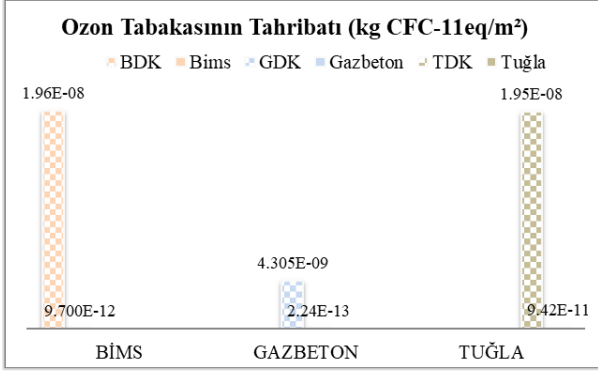
Şekil 12'de görülebileceği gibi en yüksek fotokimyasal ozon gazı oluşturma potansiyeline sahip duvar konstrüksiyonunun tuğla duvar konstrüksiyonu olduğu ve tuğlanın etki değerinin konstrüksiyonun etki değerindeki payının %51.39 olduğu tespit edilmiştir. Duvar konstrüksiyonları içinde en düşük fotokimyasal ozon gazı oluşturma potansiyeline sahip duvar konstrüksiyonu ise bims blok duvar konstrüksiyonudur. Konstrüksiyonun etki değerinde en az payı (%13.81) olan malzeme ise yine bims bloktur. Gazbetonun fotokimyasal ozon gazı oluşturmada duvar konstrüksiyonu içerisindeki payı %14.65'tir. Tuğlanın üretimi esnasında açığa çıkan endüstriyel hava kirleticilerinin diğer duvar malzemelerine göre fazla olması ile açıklanabilmektedir.



Şekil 12. Duvar konstrüksiyonları ve seçilen duvar malzemelerinin fotokimyasal ozon gazı oluşturma potansiyeli

Stratosferik ozon yüksek atmosferde, stratosfer tabakasında bulunmakta ve güneşten gelen zararlı ultraviyole ışınlarını emerek, bu ışınların olumsuz etkilerini ortadan kaldırdığından iyi huylu ozon olarak bilinmektedir (<http://dmi.gov.tr>). Kloroflourokarbon (CFC) gazı içeren spreylere, deodorantlara, böcek öldürücülere vb. gibi bileşikler, stratosfere kadar bozulmadan çıkarak kutuplara doğru yayılıp ozonla reaksiyona girerek ozonun konsantrasyonunu düşürmektedir. Böylece kutuplar üzerindeki ozon tabakasında yırtılmalar meydana gelmektedir.

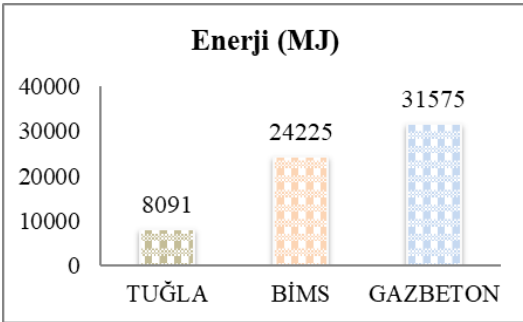
Şekil 13'te görülebileceği gibi en yüksek ozon tabakasının tahribine sebep olabilecek duvar konstrüksiyonunun tuğla duvar konstrüksiyonu olduğu ve tuğlanın etki değerinin konstrüksiyonun etki değerindeki payının %0.48 olduğu tespit edilmiştir. Duvar konstrüksiyonları içinde en düşük ozon tabakasının tahribine neden olabilecek duvar konstrüksiyonu ise gazbeton blok duvar konstrüksiyonudur. Konstrüksiyonun etki değerinde en az payı (%0.005) olan malzeme ise yine gazbeton bloktur. Bims bloğun ozon tabakasının tüketiminde duvar konstrüksiyonu içerisindeki payı %0.04'tür.



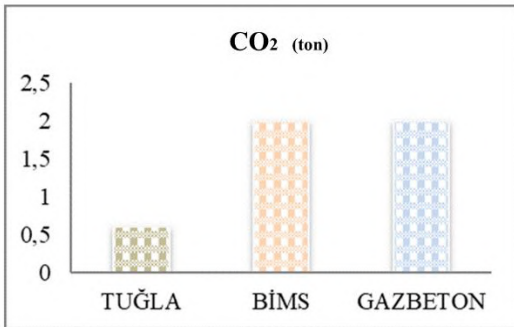
Şekil 13. Duvar konstrüksiyonları ve seçilen duvar malzemelerinin ozon tabakası tahribatı potansiyeli

### 3.1.2. A4 Evresi

Duvar malzemelerinin A4 evresinde (ürünün şantiye evresine nakliyesi) oluşan enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> salım değerleri Tablo 4'te verilen ulaşım verileri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Ürünlerin A4 evresi için gerekli olan enerji miktarı tuğla, gazbeton ve bims blok için sırasıyla 8091 MJ, 24225 MJ ve 31575 MJ, CO<sub>2</sub> salımları ise 0.6, 2, 2 ton olarak belirlenmiştir. Şantiye alanına en uzak mesafede ürün temin yeri bulunan gazbeton, beklendiği gibi ulaşım için gerekli olan enerji tüketiminde ve CO<sub>2</sub> salımında ilk sırada yer almıştır (Şekil 14,15).



Şekil 14. Seçilen duvar malzemelerinin A4 evresi enerji tüketimi



Şekil 15. Seçilen duvar malzemelerinin A4 evresinde ortaya çıkan CO<sub>2</sub> salım değerleri

## 3.2. Duvar Malzemelerinin Yapının Enerji Performansına Etkisi

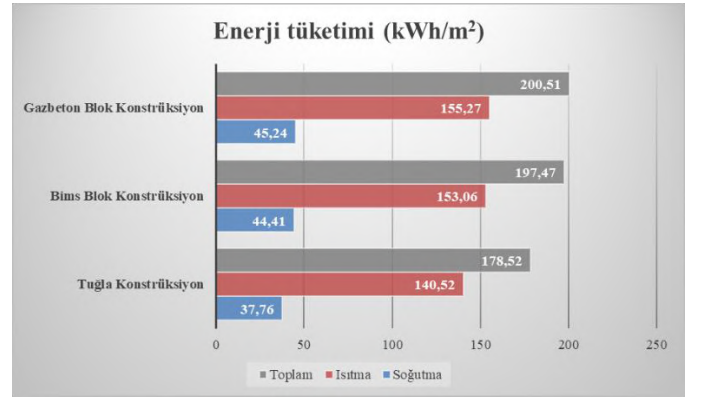
Bu bölümde duvar malzemelerinin yapının enerji performansına ve kabuğun ısı kütlesi özelliğine etkisi ele alınmıştır.

### 3.2.1. Enerji Performansına Etkisi

Tuğla, gazbeton ve bims blok ile oluşturulan konstrüksiyonlar TOKİ konutları için Design Builder yazılımında analiz edilmiş ve konutun ısıtma ve soğutma ihtiyacı için yıllık enerji ihtiyacı belirlenmiştir. Tablo 5'te görülebileceği gibi, tuğla konstrüksiyon duvar ile üretilen konutun enerji ihtiyacı 178.28 kWh/m<sup>2</sup> ve bims blok konstrüksiyon duvar ile üretilen konutun enerji ihtiyacı 197.47 kWh/m<sup>2</sup> iken, gazbeton blok konstrüksiyon duvar ile üretilen konutun enerji ihtiyacı 200.51 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır (Şekil 16) Aynı duvar ısı iletkenlik değerine sahip olmasına rağmen tuğlanın yüksek ısı depolama yeteneği sayesinde enerji ihtiyacını azalttığı söylenebilmektedir (Tablo 6).

Tablo 5. Seçili duvar malzemeleri ile oluşturulmuş yapının enerji ihtiyacı

Konstrüksiyon	Isıtma (kWh/m <sup>2</sup> )	Soğutma (kWh/m <sup>2</sup> )	Toplam (kWh/m <sup>2</sup> )
Tuğla	140.52	37.76	178.28
Bims	153.06	44.41	197.47
Gazbeton	155.27	45.24	200.51



Şekil 16. Seçili duvar malzemeleri ile oluşturulmuş yapının enerji tüketimi

### 3.2.2. Kabuğun ısı kütlesi özelliğine etkisi

Tuğla, gazbeton ve bims bloğun kabuğun ısı kütlesine etkisi değerlendirildiğinde, Tablo 6'da da görülebileceği gibi tuğlanın iç alan ısı kapasitesinin 52.958 kJ/(m<sup>2</sup>.K), bims bloğun 48.059 kJ/(m<sup>2</sup>.K), gazbetonun ise 45.844 kJ/(m<sup>2</sup>.K) olduğu hesaplanmıştır. Tuğla konstrüksiyonun daha fazla ısı depolama kapasitesi sayesinde, ısı kütlesi üzerinde etkili olduğu söylenebilmektedir. Bu bağlamda, faz erteleme süresinin en uzun ve genlik küçültme faktörünün en yüksek olduğu konstrüksiyon tipi tuğla konstrüksiyondur. Yüksek ısı kütleye sahip konstrüksiyon tipi, iç mekanın ısı konforunun sağlanmasında enerji ihtiyacını düşürerek olumlu etki sağlamaktadır.



Tablo 6. Konstrüksiyonların ısı depolama kapasiteleri

Konstrüksiyon	İç alan ısı kapasitesi kJ/(m <sup>2</sup> .K)	Dış alan ısı kapasitesi kJ/(m <sup>2</sup> .K)	Toplam ısı kapasitesi kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Tuğla	52.958	5.267	58.225
Bims	48.059	5.625	53.684
Gazbeton	45.844	6.005	51.849

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma kapsamında duvar konstrüksiyonlarında kullanılan tuğla, gazbeton ve bims bloğun çevresel etkileri ve yapının kullanım evresindeki enerji performansına ve kabuğun ısı kütlesi özelliğine etkileri sürdürülebilir mimarlık bağlamında bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Duvar malzemelerinin çevresel etkileri TRACI 2.1 karakterizasyon şeması üzerinden ayrı ayrı etki sınıflarınca ele alınmıştır. Elde edilen veriler tuğlanın çevresel etkilerinin üretim sürecinde yüksek ısı enerjisi gerektirdiğinden gazbeton ve bims bloğa göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Örnek alan olarak seçilen Safranbolu Kirkille TOKİ Konutları için tuğlanın Safranbolu'ya yakın olan Bartın'daki tuğla fabrikasından temin edileceği düşünüldüğünde, diğer malzemelerin tedarikine göre A4 evresindeki enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> salımı da en azdır.

Duvar malzemelerinin konutun enerji performansına etkisi incelendiğinde en düşük ısıtma ve soğutma yükünün tuğla konstrüksiyon ile inşa edilen konutta olduğu hesaplanırken, en yüksek ısı depolama kapasitesine sahip kabuk ise yine tuğladadır.

Yapının inşa edileceği arazi koşulları, makro ve mikroklimatik iklim koşulları, kullanım sıklığı ve ısıtma düzeni yapı kabuğunda kullanılacak malzeme seçimini birincil olarak etkilemektedir. Öyle ki, sıcak kuru veya soğuk iklim koşullarında inşa edilecek bir yapı için enerji tüketimi ve ısı kütlesi önemli bir parametre iken, kesikli ısıtma ve kullanım düzenine sahip bir yapı için yapının hafif konstrüksiyon ile hızlı ısınması öne çıkabilmektedir. Fakat malzemelerin her evrede düşük çevresel etki değerlerine sahip olması beklenmektedir. Malzemelerde düşük çevresel etki, yüksek enerji ve ısı performansının yolu ise yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim sürecine dahil edilmesi ve malzemenin kullanım evresi sona erdiğinde geri dönüşüm yöntemleri ile atık yönetiminin kurgulanmasından geçmektedir. Fosil yakıtların neden olduğu çevresel etkiler bu yolla azaltılabilecek, temiz enerji kaynakları ile üretilen yapı malzemeleri geri dönüştürülerek hammadde ihtiyacının önüne geçilebilecektir.

Çalışmanın ilerleyen evrelerinde, farklı işleve sahip yapı türleri için malzemelerin etkileri üzerinde durularak, farklı makro ve mikroklimatik iklim koşullarındaki durumlarının tespit edilmesi planlanmaktadır.

#### Kaynakça

Alkaya, E., Böğürücü, M. & Ulutai, F. (2012). Yaşam Döngüsü Analizi ve Bina Isı Yalıtım Malzemeleri İçin Uygulamalar. *Çevre Bilim & Teknoloji*, 3(4) 4, 261-274.

Ardente, F., Beccali, M., Cellura, M., & Mistretta, M. (2008). Building energy performance: A LCA case study of kenaf-fibres insulation board. *Energy and Buildings*, 40(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.12.009>

Ata-Ali, N., Penadés-Plà, V., Martínez-Muñoz, D., & Yepes, V. (2021). Recycled versus non-recycled insulation alternatives: LCA analysis for different climatic conditions in Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 175. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105838>

Bai, T., Mao, B., Chen, A., Li, Y., Wu, S., Hu, Z., & Lin, Z. (2021). Investigation of low-temperature construction additives (LCAs) effects on the technical properties of asphalt binder. *Construction and Building Materials*, 304(February). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124634>

Benli Yıldız, N., Arslan, H., & Yılmaz, E. (2020). Life Cycle Assessment of Building Materials: Literature Review. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8, 210–219.

Bueno, C., & Fabricio, M. M. (2018). Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in. *Automation in Construction*, 90 (January 2016), 188–200. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.028>

Buyle, M., Braet, J., & Audenaert, A., (2013). İnşaat Sektöründe Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi: Bir İnceleme. *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerjiler Üzerine İncelemeler, Antwerp*, Belçika, vol. 26, ss. 379– 388, Oct.

Calkins, M. (2009). *Materials for sustainable sites: a complete guide to the evaluation, selection, and use of sustainable construction materials*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. 457 p.

Chàfer, M., Pérez, G., Coma, J., & Cabeza, L. F. (2021). A comparative life cycle assessment between green walls and green facades in the Mediterranean continental climate. *Energy and Buildings*, 249. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111236>

Chau, C. K., Leung, T. M., & Ng, W. Y. (2015). A review on Life Cycle Assessment, *Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings*. 143, 395–413. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.023>

Colangelo, F., Farina, I., Travagliani, M., Salzano, C., Cioffi, R., & Petrillo, A. (2021). Eco-efficient industrial waste recycling for the manufacturing of fibre reinforced innovative geopolymer mortars: Integrated waste management and green product development through LCA. *Journal of Cleaner Production*, 312(May), 127777. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127777>

Çiftçi, H., & Arslanoğlu, H. (2021)Çinko Üretimi Atık Kekinin Fosfat Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 251-262. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.878902>

Ding, G. K. C. (2013). Life cycle assessment (LCA) of sustainable building materials: An overview. *Eco-Efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco- Labelling and Case Studies*, 38–62. <https://doi.org/10.1533/9780857097729.1.38>

DMİ, “Stratosferik Ozon Tükenimi”, <http://dmi.gov.tr> (2010).

Dylewski, R., & Adamczyk, J. (2013). Life cycle assessment (LCA) of building thermal insulation materials. In *Eco-Efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco- Labelling and Case Studies*.

- Woodhead Publishing Limited.  
<https://doi.org/10.1533/9780857097729.2.267>
- European Commission Energy Department (2021) "In focus: Energy efficiency in buildings", [pdf] Energy Department, Brussels, Available at: [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/energy\\_climate\\_change\\_environment/events/documents/in\\_focus\\_energy\\_efficiency\\_in\\_buildings\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/energy_climate_change_environment/events/documents/in_focus_energy_efficiency_in_buildings_en.pdf) [Erişim tarihi: 25.09.2021]
- Fan, R., Chen, C. L., Lin, J. Y., Tzeng, J. H., Huang, C. P., Dong, C. & Huang, C. P. (2019). Adsorption characteristics of ammonium ion onto hydrous biochars in dilute aqueous solutions. *Bioresource technology*, 272, 465-472.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.10.064>
- Hasik, V., Escott, E., Bates, R., Carlisle, S., Faircloth, B., & Bilec, M. M. (2019). Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction. *Building and Environment*, 161(May), 106218.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106218>
- Hesser, F. (2015). Environmental advantage by choice: Ex-ante LCA for a new Kraft pulp fibre reinforced polypropylene composite in comparison to reference materials. *Composites Part B: Engineering*, 79, 197-203.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.04.038>
- Hossain, M. U., Poon, C. S., Lo, I. M. C., & Cheng, J. C. P. (2017). Comparative LCA on using waste materials in the cement industry: A Hong Kong case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 199-208.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.12.012>
- Ingrao, C., Messineo, A., Beltramo, R., Yigitcanlar, T., & Ioppolo, G. (2018). How can life cycle thinking support sustainability of buildings? Investigating life cycle assessment applications for energy efficiency and environmental performance. *Journal of Cleaner Production*, 201, 556-569.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.080>
- Jullien, A., Proust, C., & Yazoghli-Marzouk, O. (2019). LCA of alternative granular materials – Assessment of ecotoxicity and toxicity for road case studies. *Construction and Building Materials*, 227, 116737.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116737>
- Katsoyiannis, A., Leva, A. P & Kotzias, D. (2006) Determination of Volatile Organic Compounds Emitted from Household Products. *The Case of Velvet Carpets Fresenius Environ. Bull.*, 15, (8b) 943-949, 2006.
- Kondalkar, M., Fegade, U., Attarde, S. & Ingle, S. (2019). Phosphate removal, mechanism, and adsorption properties of Fe-Mn-Zn oxide trimetal alloy nanocomposite fabricated via co-precipitation method. *Separation Science and Technology*, 54(16), 2682-2694.  
<https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1550513>
- Konuklu, Y., & Paksoy, H. Ö. (2011). Faz Değiştiren Maddeler İle Binalalarda Enerji Verimliliği. *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 919-930.
- La Rosa, A. D., Greco, S., Tosto, C., & Cicala, G. (2021). LCA and LCC of a chemical recycling process of waste CF-thermoset composites for the production of novel CF-thermoplastic composites. Open loop and closed loop scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 304, 127158.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127158>
- Llantoy, N., Chàfer, M., & Cabeza, L. F. (2020). A comparative life cycle assessment (LCA) of different insulation materials for buildings in the continental Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 225, 110323.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110323>
- Manjunatha, M., Preethi, S., Malingaraya, Mounika, H. G., Niveditha, K. N., & Ravi. (2021). Life cycle assessment (LCA) of concrete prepared with sustainable cement-based materials. *Materials Today: Proceedings*, 47, 3637-3644.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.248>
- Marcelino-Sadaba, S., Kinuthia, J., Oti, J., & Seco Meneses, A. (2017). Challenges in Life Cycle Assessment (LCA) of stabilised clay-based construction materials. *Applied Clay Science*, 144(May), 121-130.  
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.05.012>
- Monahan, J., & Powell, J. C. (2011). An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework. *Energy and Buildings*, 43(1), 179-188.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.005>
- Morris, F., Allen, S., & Hawkins, W. (2021). On the embodied carbon of structural timber versus steel, and the influence of LCA methodology. *Building and Environment*, 206(May), 108285. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108285>
- Murmu ve Patel, (2018). Sürdürülebilir Tuğla Üretimine Doğru: Genel Bakış Konstr. İnşa Etmek. *Anne*, 165, 112-125, 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.038
- Najjar, M., Figueiredo, K., Palumbo, M., & Haddad, A. (2017). Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building. *Journal of Building Engineering*, 14(March), 115-126.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.10.005>
- Oztas Karaman S., & Tanaçan, L. (2015). Verification of Life Cycle Impact Assessment Model developed for Turkish Building Materials Sector. *The 2nd International International Sustainable Building Symposium*, 866-874.
- Özcan, H.K. , Şahin, Ü., Bayat, C. & Uçan, O.N (2006). İstanbul İli Tropsoferik Ozon (O3) Konsantrasyonlarının Hücresel Yapay Sınır Ağ Yöntemiyle Modellenmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 21(2), 239-245
- Özdemir, A. (2019). Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B- Teorik Bilimler. 7(2), 166-183. <https://doi.org/10.20290/estubtdb.517254>
- Özutku, O., & Karakuş, C. Binalarda Isı Yalıtım Yolu İle Enerji Tasarrufunun İklimlendirme Açısından İncelenmesi Ve Optimum Cam Kaplama Alanı Belirlenmesi. [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/f26d91da3dfa79e\\_ek.pdf](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/f26d91da3dfa79e_ek.pdf)
- Pannier, M. L., Lemoine, C., Amiel, M., Boileau, H., Buhé, C., & Raymond, R. (2021). Multidisciplinary post-occupancy evaluation of a multifamily house: An example linking sociological, energy and LCA studies. *Journal of Building Engineering*, 37(July 2020), 102139.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102139>

- Peuportier, B., Thiers, S., & Guiavarch, A. (2013). Eco-design of buildings using thermal simulation and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 39, 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.041>
- Rajagopalan, N., Bilec, M. M., & Landis, A. E. (2010). Residential life cycle assessment modeling: Comparative case study of insulating concrete forms and traditional building materials. *Journal of Green Building*, 5(3), 95–106. <https://doi.org/10.3992/jgb.5.3.95>
- Raposo, C., Rodrigues, F., & Rodrigues, H. (2019). BIM-based LCA assessment of seismic strengthening solutions for reinforced concrete precast industrial buildings. *Innovative Infrastructure Solutions*, 4(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s41062-019-0239-7>
- Salazar, J. (2013). Life cycle assessment (LCA) of windows and window materials. *Eco-Efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*, 502–527. <https://doi.org/10.1533/9780857097729.3.502>
- Selici, T., Utlu Z. ve İlten N. (2005). Enerji Kullanımının Çevresel Etkileri Ve Sürdürülebilir Gelişme Açısından Değerlendirilmesi.
- Sezer, F. Ş., & Dilmaç, Ş. (2014). Farklı Duvar Malzemesi ve Yalıtım Uygulamalarının Isıl Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Experimental Study on the Effects of Wall Materials and Insulation Conditions on the Thermal Behavior* (Vol. 29, Issue 2). <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/211241>
- Thiel, C., Stengel, T., & Gehlen, C. (2013). Life cycle assessment (LCA) of road pavement materials. *In Eco-Efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*. <https://doi.org/10.1533/9780857097729.2.368>
- Tindale, A. (2005). DesignBuilder Software, Retrieved 29 April, 2005.
- Tuna, M. (2015). Y.D.D. Yöntemi Kapsamında Yün Ve Plastik Esaslı Halı Kaplamalarının Çevresel Performansının Değerlendirilmesi ve İç Mekân Hava Kalitesine Etkileri. *TESKON*.
- Tuna Taygun, G. (2005). Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Bir Model Önerisi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 213 s.
- Tushar, Q., Bhuiyan, M. A., Zhang, G., & Maqsood, T. (2021). An integrated approach of BIM-enabled LCA and energy simulation: The optimized solution towards sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125622. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125622>
- UNFCCC-United Nations Climate Change,(2020). [https://di.unfccc.int/detailed\\_data\\_by\\_party](https://di.unfccc.int/detailed_data_by_party)
- URL 1 : [https://passipedia.org/\\_media/picopen/9f\\_160815\\_phi\\_building\\_criteria\\_en.pdf](https://passipedia.org/_media/picopen/9f_160815_phi_building_criteria_en.pdf)
- URL 2 : <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ftwitter.com%2Femlakyonetim%2Fstatus%2F109278529463>
- [2542209%3Flang%3Dde&psig=AOvVaw0JVioI4hYTUIyaghOXLbt7&ust=1623415462699000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCLCupISMjfECFQAAAAAdA AAAABAY](https://www.htflux.com/en/)
- URL 3 : <https://www.htflux.com/en/>
- Valencia-Barba, Yovanna E., & Gómez-Soberón, J. M. (2019). LCA Analysis of Three Types of Interior Partition Walls Used in Buildings. *Proceedings*, 2(22), 1595. <https://doi.org/10.3390/proceedings2221595>
- Valencia-Barba, Yovanna Elena, Gómez-Soberón, J. M., Gómez-Soberón, M. C., & Rojas-Valencia, M. N. (2021). Life cycle assessment of interior partition walls: Comparison between functionality requirements and best environmental performance. *Journal of Building Engineering*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102978>
- Yıldız, A., Gürlek, G., Erkek, M., & Özbalta, N. (2008). Yapılarda Isı Yalıtım Kalınlığının Ekonomik ve Çevresel Analizi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28(2), 25–34.
- Yılmaz, E., Arslan, H., & Bideci, A. (2019). Environmental performance analysis of insulated composite facade panels using life cycle assessment (LCA). *Construction and Building Materials*, 202, 806–813. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.057>
- Yıldız, Y., Özbalta, T. G., & Arsan, Z. D. (2011). Farklı Cam Türleri ve Yönlerine Göre Pencere/Duvar Alanı Oranının Bina Enerji Performansına Etkisi: Eğitim Binası, İzmir. *Megaron*, 6(1). [https://jag.journalagent.com/megaron/pdfs/MEGARON\\_6\\_1\\_30\\_38.pdf](https://jag.journalagent.com/megaron/pdfs/MEGARON_6_1_30_38.pdf)
- Wu, T., Gong, M., & Xiao, J. (2020). Preliminary sensitivity study on an life cycle assessment (LCA) tool via assessing a hybrid timber building. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 5(2), 108–113. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.04.004>



# Alternative Sustainable Binder for Concrete Construction: Wood Ash as a Cement Replacement

Sevket Can Bostancı<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> European University of Lefke, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Lefke, Northern Cyprus, TR-10, Mersin, Turkey (ORCID: 0000-0002-1493-6147), [sbostanci@eul.edu.tr](mailto:sbostanci@eul.edu.tr)

(First received 29 October 2021 and in final form 16 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1016330)

**ATIF/REFERENCE:** Bostancı, S.C. (2021). Alternative Sustainable Binder for Concrete Construction: Wood Ash as a Cement Replacement. *European Journal of Science and Technology*, (31), 594-608.

## Abstract

The use of waste materials in concrete production has been highly encouraged recently to minimize the environmental problems. Portland cement is a high energy-intensive constituent material that contributes to CO<sub>2</sub> emissions. Local waste materials are trending in concrete production due to shorter transportation distances that do not contribute to eCO<sub>2</sub> emissions. Wood ash is one of the available wastes in Cyprus which is potentially disposed of through landfill. This study aimed to several various engineering properties (slump, bulk density, compressive strength, water permeability) performances of concrete mixes made with 95% Portland cement (PC) and 5% wood ash (WA) for 28 d target design strengths of 30 MPa and 45 MPa. In addition, further assessment was established to investigate the potential sustainability performance of the laboratory mixes from environmental (eCO<sub>2</sub> emissions), economic and social (thermal conductivity and sound permeability) point of view. Studies of engineering properties, comprising slump, compressive strength and water permeability, showed either similar or slightly improved performances for WA mixes compared to PC mixes, while WA addition increased bulk density. Concerning sustainability performance, WA use decreased eCO<sub>2</sub> emissions compared to conventional mixes. Social sustainability indicators had also enhanced performances for WA mixes indicating an encouraging approach for lower impact concrete production.

**Keywords:** Sustainable Construction, Sustainable Concrete, Wood Ash, Thermal Conductivity, Sound Permeability, Engineering.

## Beton Üretiminde Alternatif Sürdürülebilir Bağlayıcı: Çimento Yerine Odun Külü Kullanımı

### Öz

Çevre sorunlarının en aza indirilmesi için atık malzemelerin beton üretiminde kullanılması son zamanlarda oldukça teşvik edilmektedir. Portland çimentosu (PC), CO<sub>2</sub> emisyonlarına katkıda bulunan, yüksek enerji yoğun bileşenli bir malzemedir. Yerel atık malzemeler, eCO<sub>2</sub> emisyonlarına katkıda bulunmayan daha kısa nakliye mesafeleri nedeniyle beton üretiminde tercih ediliyor. Odun külü (WA), Kıbrıs'ta potansiyel olarak çöplük yoluyla bertaraf edilebilecek mevcut atıklardan biridir. Bu çalışma, 30 MPa ve 45 MPa'lık 28 gün (28 d) hedef tasarım dayanımları için %95 Portland çimentosu ve %5 odun külü ile yapılan beton karışımlarının çeşitli mühendislik özelliklerini (çökme, kütle yoğunluğu, basınç dayanımı, su geçirgenliği) performanslarını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Ek olarak, laboratuvar karışımlarının çevresel (eCO<sub>2</sub> emisyonları), ekonomik ve sosyal (termal iletkenlik ve ses geçirgenliği) açısından potansiyel sürdürülebilirlik performansını araştırmak için daha fazla değerlendirme yapılmıştır. Çökme, basınç dayanımı ve su geçirgenliğini içeren mühendislik özellikleri çalışmaları, WA karışımları için PC karışımlarına kıyasla benzer veya biraz daha iyi performans gösterirken, WA ilavesi kütle yoğunluğunu artırdı. Sürdürülebilirlik performansı ile ilgili olarak, WA kullanımı, geleneksel karışımlara kıyasla eCO<sub>2</sub> emisyonlarını azalttı. Sosyal sürdürülebilirlik göstergeleri, sürdürülebilir beton üretimi için umut verici bir yaklaşıma işaret eden WA karışımları için performansları da artırdı.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilir İnşaat, Sürdürülebilir Beton, Odun Külü, Termal İletkenlik, Ses Geçirgenliği, Mühendislik.

\* Corresponding Author: [sbostanci@eul.edu.tr](mailto:sbostanci@eul.edu.tr)



## 1. Introduction

The concrete industry undertakes 8% of the global CO<sub>2</sub> emissions. Environmental destruction of concrete production through releasing CO<sub>2</sub> emissions to the atmosphere is usually associated with Portland cement (PC) use. Considerable amount of embodied CO<sub>2</sub> (eCO<sub>2</sub>) emissions and embodied energy are required during the production of PC (Timperley, 2018; Sanal, 2018). Countries agree to cut down their CO<sub>2</sub> emissions which contribute to global warming under the Kyoto Protocol in 1990 (Climate Change Secretariat, 2008). Similar concerns were stressed again in the Paris agreement in 2015 (United Nations, 2015).

Attention was paid primarily to the utilization of environmentally-efficient and locally available waste materials in concrete manufacturing to minimize emissions through production and transportation. Waste materials have been introduced in the last couple of decades as alternative cementitious materials to replace PC. Several studies were conducted to determine the applicability of these materials based on mechanical and environmental performances (Bostanci, Limbachiya, & Kew, 2018; Scrivener, John, & Gartner, 2018; Aydin & Arel, 2019; Meddah, 2017; Onuaguluchi & Eren, 2016; Sanal, 2018; Ruan & Unluer, 2017; Ince, 2019). Local wastes depend on the traditional habits and availability. The use of these materials, depending upon their effectiveness, could potentially minimize emissions and lower the cost of transportation and production. Wood ash (WA) waste through wood burning for domestic heating purposes is usually available in developing countries. When obtained, it could be used as a filler material in concrete production (da Luz Garcia, 2013) or as fertilizing application of soil (Prabagar, Subasinghe, & Fonseka, 2015). There is no standard disposal method for WA. As a consequence, it could lead to health problems through air-borne of fine materials in windy conditions and contamination of the groundwater from leaching of heavy metal contents through landfilling (Udoeyo, Inyang, Young, & Oparadu, 2006). As WA is not globally available material, a very few studies on WA incorporated concretes have been performed. According to Siddique (Siddique, 2012), the use of WA is limited due to higher carbon content and its properties vary depending upon the type of wood and burning temperature. These varying inherent and chemical properties result in contradicting results. Naik (Naik, Kraus, & Siddique, 2003) stated that the source has a remarkable influence on the physical and chemical properties of ash additive concretes. A study by Chowdury (Chowdury, Mishra, & Suganya, 2015) noted the lower workability of WA incorporated mixes. A similar finding was reported by Cheah (Cheah & Ramli, 2012) with WA content varying from 5% up to 25% reduced workability. Udoeyo (Udoeyo, Inyang, Young, & Oparadu, 2006) found significant slump loss of up to 15% WA content whereas no slump was available at further replacement levels. In addition, Abdullahi (Abdullahi, 2006) modified the w/b ratios and reported improved slump values for mixes with WA content up of to 40%. Luz Garcia (da Luz Garcia, 2013) also observed a slight improvement in fresh properties with 5% and 10% WA content. Similar workability was also recorded by Pavlikova (Pavlikova, et al., 2018) for 10% replacement levels, whereas workability was decreased for greater than 10% replacement level. When considering hardened properties, bulk density is more apparent as WA content increments due to the lower specific gravity of WA (Chowdury, Mishra, & Suganya, 2015), (Cheah & Ramli, 2011; Kizinevic &

Kizinevic, 2016). No specific trend has been observed for bulk density by Cheah (Cheah & Ramli, 2011) and Pavlikova (Pavlikova, et al., 2018) when WA is introduced. Earlier studies reported reduction in compressive strength for WA concrete mixes (da Luz Garcia, 2013; Cheah & Ramli, 2011; Kizinevic & Kizinevic, 2016). Some studies (da Luz Garcia, 2013; Cheah & Ramli, 2011) stated that this reduction was attributed to the filling effect of WA. On the contrary, few studies (Prabagar, Subasinghe, & Fonseka, 2015; Chowdury, Mishra, & Suganya, 2015) reported that 15% of WA use improved the compressive strength due to the pozzolanic property of WA. In addition, there was no negative effect on the compressive strength reported up to 8% of WA content (Naik, Kraus, & Siddique, 2002). Udoeyo (Udoeyo, Inyang, Young, & Oparadu, 2006) and Cheah (Cheah & Ramli, 2012) found that 5% WA replacement level is acceptable in terms of the compressive strength. However, Ramos (Ramos, Matos, & Sousa-Coutinho, 2013) and Pavlikova (Pavlikova, et al., 2018) reported improved compressive strength for mixes with 10% WA content. As far as the durability properties concerned, previous studies reported gradual improvement as WA content increased (Cheah & Ramli, 2012; Cheah & Ramli, 2011; Kizinevic & Kizinevic, 2016; Udoeyo, Inyang, Young, & Oparadu, 2006). In contrast, Prabagar (Prabagar, Subasinghe, & Fonseka, 2015) observed reduction in water absorption values for WA mixes composed of 10%, 15% and 20% WA contents. This contradicting trend was also observed for the porosity property. Previous studies (Kizinevic & Kizinevic, 2016; Rissanen, et al., 2019) reported an increase in porosity when using WA whilst Pavlikova (Pavlikova, et al., 2018) found a reduction in porosity for mixes with 10% and 15% WA contents. From the mechanical point of view, Ekinci (Ekinci, Hanafi, & Aydin, 2020) stated that 5% WA content is the optimum replacement level for WA to improve concrete matrix.

In general, established literature suggested contradicting performances on the engineering properties of WA concretes. These mixes were produced with 5% WA content as a replacement of PC and aimed to have 28 d target design strengths of 30 MPa and 45 MPa. When sustainability performance is concerned, there is no clear available analytical data carried out on the sustainability performance (environmental, economic and social) of WA incorporated concretes. Against this background, this study targeted to investigate the basic engineering properties including slump value, bulk density, compressive strength, and water permeability of laboratory mixes. Sustainability performances of laboratory mixes were, then, carried out based on environmental, economic and social perspectives. Environmental sustainability includes eCO<sub>2</sub> emissions analysis while economic sustainability considers costs of developed mixes. Social sustainability focusses on the health and well-being relevant measures including thermal conductivity and sound permeability.

## 2. Material and Method

### 2.1. Materials

#### 2.1.1. Cement

CEM I was used in accordance with TS EN 197-1 (Turkish Standards Institution, TS EN 197-1, 2012). PC had Blaine fineness of 305 m<sup>2</sup>/kg and specific gravity reported from the supplier was 3.15. The chemical composition of the PC, based on atomic mass, is provided in Table 1.

**2.1.2. Wood Ash**

A was used to replace PC by 5% on a mass basis (95%PC+5%WA) to promote environmentally efficient concrete production. WA was collected from the author’s own house from the fireplace burning for heating purposes. The average burning temperature is believed to be around 500°- 600°. Most of WA collected was from the olive tree. Trees were cut down by the local government due to highway construction and then cut into pieces with the permission of the forestry department. It is worth to mention that the wood used for heating was responsibly sourced in a sustainable manner. The sieve size used was 425 µm to ensure uniformity in shape. This sieve size was used to maximize the amount of material obtained. Fig. 1 gives the grading of the both

PC and WA. The chemical composition, based on atomic mass, of WA is revealed in Table 1. WA specific gravity was 1.7.

**2.1.3. Aggregates**

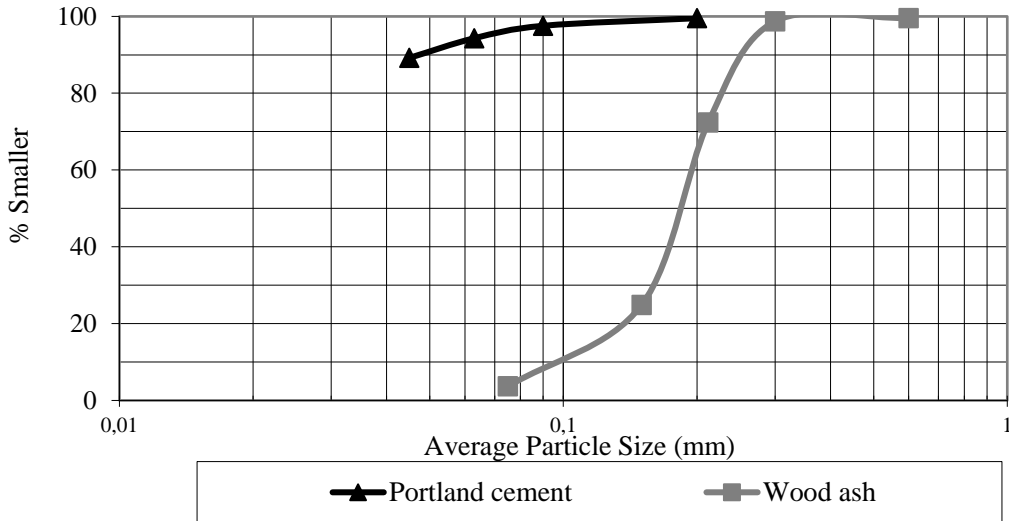
Natural sand and gravel were used in this study. Sand, with nominal size of 5.6mm, and gravel, with nominal size of 22.4 mm, were used in conformity with TS 706 EN 12620+A1 (Turkish Standards Institution, TS 706 EN 12620+A1, 2009). Relevant aggregates characteristics are presented in Fig. 2 and Table 2.

**2.1.4. Admixtures**

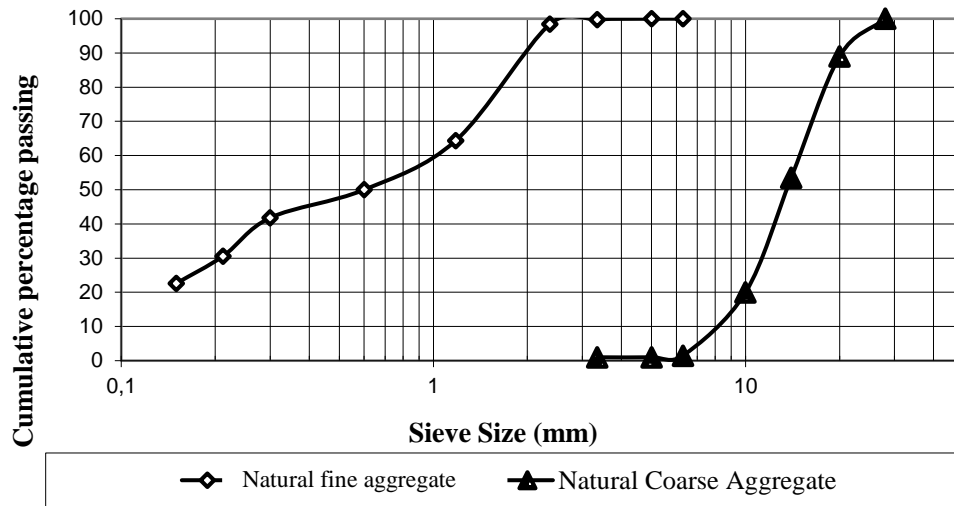
Water reducing agent, BASF MasterGlenium 126, was used as chemical admixture conforming to TS EN 934-2.

*Table 1. Chemical Compositions of Cementitious Materials*

Compound	PC (%)	WA (%)
SiO <sub>2</sub>	21.2	18.1
CaO	64.7	44.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.1	3.3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.5	2.8
MgO	0.9	2.8
SO <sub>3</sub>	1.5	0.9
K <sub>2</sub> O	0.2	5.2
Loss on ignition	2.5	22.1



*Figure 1. Particle Size Distribution of Portland Cement and Wood Ash*



sought to achieve 28 d target cube strengths of 30 MPa and 45 MPa. Four mixes were produced for this study, two PC only control mixes and in the other two mixes PC was replaced by 5% WA on mass basis. WA content was kept at 5% of total cementitious content due to the limited availability of WA waste. Superplasticizer contents were kept as 1% of the PC content for all mixes. Mixes were denoted initially based on their target design strength and then cementitious type used. Control mixes were denoted as 30-PC and 45-PC whilst WA mixes were denoted as 30-WA and 45-WA. Mix proportions are presented in Table 3.

### 2.3. Test Methods

Laboratory mixes were cast complying with TS EN 12350 and samples were then covered for post 24 hours. Samples were demoulded after 24 hours and water cured at 20°C until testing according to the requirements of TS EN 12390-2. Tests conducted and relevant test ages. are presented in Table 4. Three samples were used for each test and results were established.

### 2.4. Sustainability Analyses

#### 2.4.1. Environmental Sustainability

Current concrete applications are associated mostly with its environmental performance (eCO<sub>2</sub> emission analysis) to keep up with sustainable development principles defined in the Brundtland report (Brundtland, 1987). As PC is the main contributor to eCO<sub>2</sub> emissions, replacing energy-intensive PC with waste materials or by-products will undoubtedly lower the eCO<sub>2</sub> emissions (Yilmaz, Tokyay, & Yaman, 2016; Shi, Qu, & Provis, 2019). The overall assessment of sustainability principles included environmental, economic and social impact. Huising (Huising, Zhang, Moore, Qiao, & Li, 2015) suggested that carbon reduction strategies to satisfy sustainable development should start from the smallest scale, as possible, which will then affect the global scale. Current practices do not fully favour replacing PC with environmentally-efficient waste materials due to their poor mechanical performance, associated mostly with compressive cube strength. Then, the relationship between eCO<sub>2</sub> emissions with 28 d compressive strength was determined. Sustainability analyses were performed by considering materials delivery to the casting site. PC was imported from abroad, and thus, emissions regarding to PC production and use consider raw materials processing, delivery to the seaport, sea transport from Turkey to North Cyprus, delivery from the seaport to silo, carrying to silo for storage and emptying from the silo to production site. Extraction and processing of aggregates were accounted and followed by delivering to the concrete casting. The data regarding eCO<sub>2</sub> emissions of these materials were obtained in cooperation with the Kascon Ready-mixed concrete company limited and its sub-company Üstaş limited where the natural aggregates were obtained. Only eCO<sub>2</sub> emissions based on transportation from the place of collection to casting sites were included in the calculations of WA material. Table 5 summarized the equivalent eCO<sub>2</sub> emissions (Hammond & Jones, 2011; International Maritime Organization, 2014; Rossit & Lawson, 2012) of the constituents while Table 6 lists the costs of materials.

#### 2.4.2. Economic Sustainability

Economic efficiency is one of the pillars of the sustainability (Jeon, Amekudzi, & Guensler, 2013; Zito & Salvo, 2011) Shiau and Liu (Shiau & Liu, 2013) stated that economic evaluation is

one of the tools to assess sustainability. Another study expressed that sustainable transportation could provide a bridge between environmental and economic sustainability (Abbasi & Nilsson, 2016). Santos (Santos, Limbourg, & Carreira, 2015) pointed out that economic sustainability is prioritized compared to environmental and social sustainability. A report by Federal Highway Administration considers material phase including raw materials extraction and manufacturing, transportation to the plant, mix design and proportioning and from the plant to the construction site (Federal Highway Administration, 2016). It is also stated that emissions are based on the type of the transport. Considering these, costs of materials through transportation and production are given in Table 6. All distances are taken into account considering their delivery to the construction site, European University of Lefke. Cost of each material per tonne are calculated based on national tariffs for both production and transportation stages.

#### 2.4.3. Social Sustainability

People require comfortable open areas in order to enhance the quality of living (Barbulescu & Lafargue, 2016; Akadiri, Chinyio, & Olomolaiye, 2012). Plati (Plati, 2019) revealed that social sustainability is of great importance which could expose negative impact on people if it is ruined. Hajek (Hajek, 2017) stated concrete could contribute to social sustainability through its inherent thermal mass and acoustic characteristics.

##### 2.4.3.1. Thermal Conductivity

As the quality of the life for the occupants has been one of the major focus points under the sustainable construction tools (Mishra, 2020), construction materials with better inherent thermal conductivity property has drawn interest. Building fabric having lower thermal conductivity could also lower the energy demand for heating and cooling (Leo Samuel, Dharmasastha, Shiva Nagendra, & Prakash Maiya, 2017). The existing literature has examined thermal conductivity through various methods (Asadi, Shafiqh, & Mahyuddin, 2018; Kazmi, Munir, Wu, Hanif, & Patnaikuni, 2018; Pedreño-Rojas, Morales-Conde, Pérez-Gálvez, & Rodríguez-Liñán, 2017). The thermal conductivity test was carried out through steady state principle guarded hot plate test apparatus in this study. Concrete samples with dimensions of 500 mm x 500 mm with 40 mm thickness were used to test thermal conductivity in conformity with TS EN ISO 10456 and ISO 8302. Test samples were water-cured until the test age and then removed and air-cured for 24 hours before testing. The heat was applied through the lower part of the equipment that was set to 40°C whilst upper part was set to 20°C to maintain temperature difference ( $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ ) for all mixes. Thermal conductivity test equipment is given in Fig.3. Samples were surrounded with polystyrene foam to prevent heat loss and gain from the surrounding environment. A representative thermal conductivity value (l) was recorded through the instrument based on Equation 1 below.

$$\text{Equation 1: } K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot \Delta T}$$

- K: Thermal conductivity (W / m.K)
- Q: Power to generate temperature difference (Watts)
- L: Sample thickness (m)
- A: Area of surface (m<sup>2</sup>)
- $\Delta T$  Temperature difference



2.4.3.2 Sound Permeability

Providing a better quality of life of the occupants is one of the challenges in the built environment under the national legislations and Green Building tools (World Green Building Council, 2020) in recent times. Improving the indoor ambient noise levels through building fabric should be at desired (30-45 dB) levels (WHO, 1999). Concrete inherent properties could provide improved acoustic performance and improve sustainability credentials from the social perspective. In this study, the performance of the sound permeability of produced mixes was tested using 500 mm x 500 mm square samples. Samples had a thickness of 40 mm. After demoulding, specimens were water-cured until the test age. Prior to testing, samples were taken out from the water curing and left to air-drying for 24 hours. Sound permeability test equipment is given in Fig.4. The sound was applied for an hour through a speaker mounted at the bottom of the test equipment and the value was recorded in decibels. The test sample was subsequently placed on top of it and the sound received during the testing was obtained in decibels. Sound permeability value was calculated in percentage based on given and received sound decibels. The test sample was covered with polystyrene foam to prevent any interference.

3. Results and Discussion

3.1. Engineering Properties

3.1.1. Slump Test

Slump values reported are shown in Fig. 5. As expected, slump values lowered as the design strength increased due to a decrease in the w/b ratio. It can be also seen from the results that the WA addition did not have any adverse effect on the slump of both concrete mixes. Results are consistent with earlier studies (Cheah & Ramli, 2012; Udoeyo, Inyang, Young, & Oparadu, 2006; Elinwa & Mahmood, 2002) but in contrast with earlier

research by Luz Garcia (da Luz Garcia, 2013) who reported improvement in a slump when 5% WA was used. 45-WA mix with higher WA content had a similar slump as the 45-PC mix. This slight reduction of 30-WA might be due to the higher amount of coarse aggregates used could have increased the friction amongst the constituents. The author believes that replacing PC with WA could have potentially reduced the number of finer particles and thereby diminished the requirement for water content at this very early stage. Results suggest that WA use in high strength (C35/45) applications could be done similar to conventional concrete. However, use of WA concrete in medium strength (C25/30) application could require higher admixture content for the same consistency and thereby higher cost. This could negatively affect the environmental and economic sustainability associated with increasing the amount of admixture required.

3.1.2. Bulk Density

Bulk density values of mixes are given in Fig. 6. It can be seen from the results that WA incorporation increased bulk density by 0.99% and 0.21% for 30 MPa and 45 MPa design strength mixes respectively. A similar finding of a 0.66% increase was reported earlier by Ban (Cheah & Ramli, 2012). Pavlikova (Pavlikova, et al., 2018) also found an increase of 1.23% for 10% WA added concrete. However, contradicting results are also noted (Chowdury, Mishra, & Suganya, 2015; Cheah & Ramli, 2011; Kizinevic & Kizinevic, 2016). Higher bulk density of WA mixes might be linked with the higher K<sub>2</sub>O content of WA as seen in Table 1 which potassium (K) is believed to increase the rate of reactivity with the presence of water at the early phase. This led to increase in the formation of hydration products and led to higher bulk density. This is also supported by the early compressive strength results. From the sustainability perspective, increase in the bulk density could potentially lead to increased dead load for structural applications. This may require more reinforcement to withstand the exposed loads which will have a negative impact on environmental and economic sustainability.

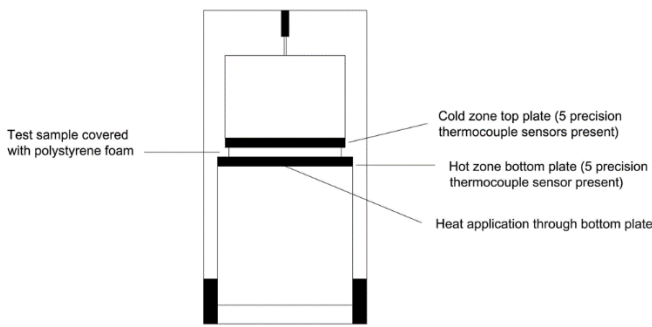


Figure 3. Thermal conductivity test equipment

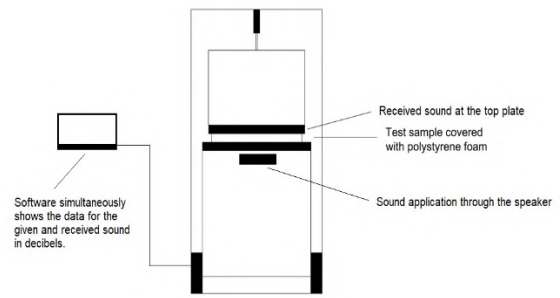


Figure 4. Sound permeability test equipment

Table 5. Environmental Impacts for the Production of Constituents Used

Stage	Constituents	eCO <sub>2</sub> emissions
Production	Aggregates	*0.005 <sup>(1)</sup> (Hammond & Jones, 2011)
	Portland cement	*0.710 <sup>(1)</sup> (Hammond & Jones, 2011)
	Water	*0.000155
	Admixture	*0.0022
	Aggregates	*0.32

<i>Transportation</i>	Portland cement (through mainland transportation)	*0.32 <sup>(2&amp;3)</sup> (International Maritime Organization, 2014; Rossit & Lawson, 2012)
	Portland cement (through seaway transportation)	*0.007 <sup>(2&amp;3)</sup> (International Maritime Organization, 2014; Rossit & Lawson, 2012)
	Admixture	*0.138

(1) Bath Inventory (Hammond & Jones, 2011); (2) International Maritime Organization (International Maritime Organization, 2014); (3) Rossit, G. & Lawson, M. (Rossit & Lawson, 2012); \* represents the data obtained from the relevant bodies and scientific references. \*Water relevant emissions were based on the national tariff in North Cyprus; admixture-related emissions were established based on the delivery conditions; and emissions through aggregates extraction and transportation was calculated by considering the distance between the extraction and the production site in cooperation with a local concrete company. For wood ash use, emissions due to electricity generation are 0.164 kg CO<sub>2</sub> per 1 hour of sieving. This value is neglected as it has an insignificant effect on eCO<sub>2</sub> emissions. Transportation emissions of WA were calculated as 9.3 kg CO<sub>2</sub> per trip.

Table 6. Highway Transportation Distances and Costs of Constituents

Constituents	Haulage distance (km)	Cost (\$/tonne)	
		Production	Transportation
<i>Aggregates</i>	72.5	4.46	3.21
<i>PC</i>	116.5	89.29	4.46
<i>WA</i>	57	0.064	3.28
<i>Admixture</i>	64.4 (single trip)	625	

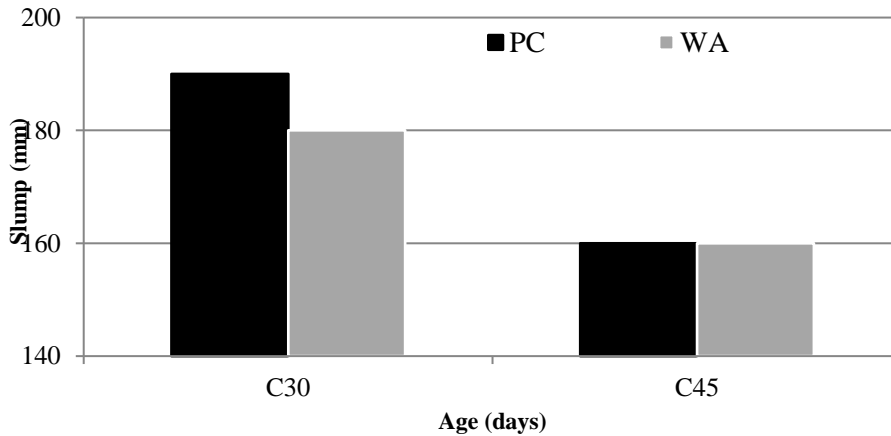


Figure 5. Slump Test Results

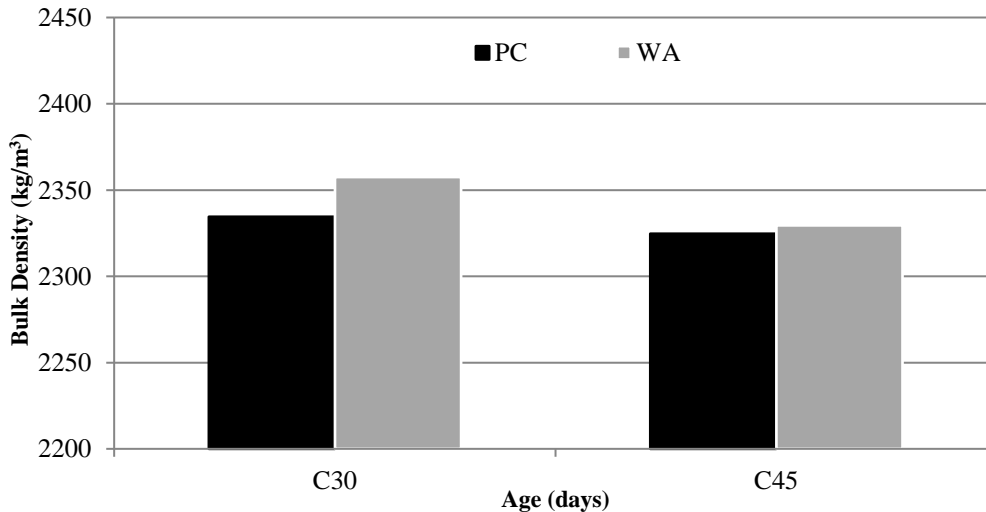


Figure 6. Bulk Density Results

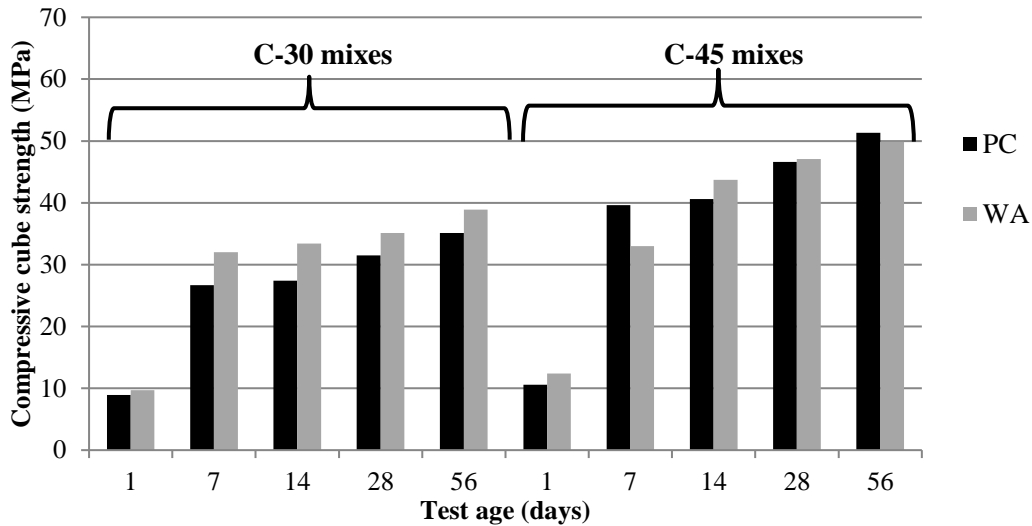


Figure 7. Compressive Cube Strength Development of PC and WA Mixes

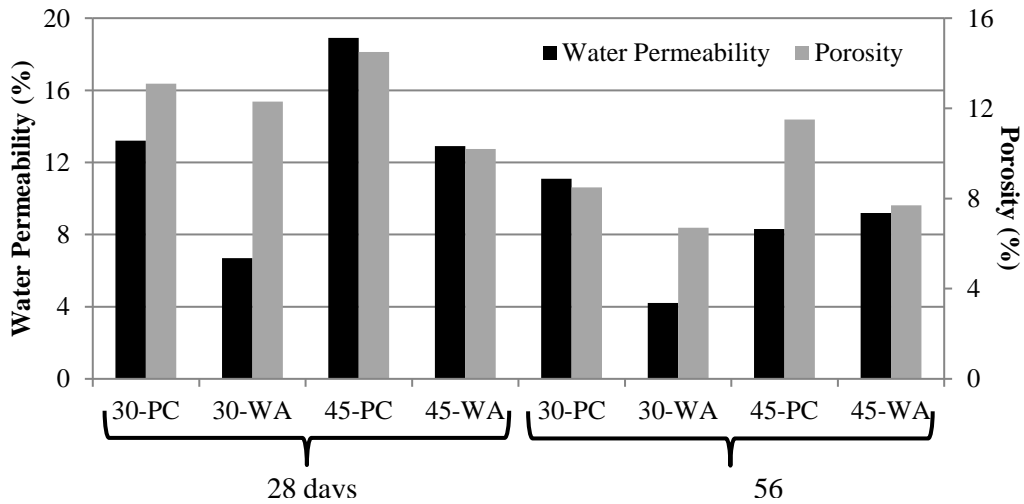


Figure 8. Water Permeability and Porosity Values of Developed Mixes

### 3.1.3. Compressive Strength

Compressive cube strength values are revealed in Fig. 7. Early strength evaluations were performed on 1 d and 7 d. Mixes were tested at 14 d and 28 d to monitor whether the target design strength is fulfilled. In addition, compressive strength test was also done at 56 d to check the presence of pozzolanic reaction at post 28 d. No specific trend was observed for WA mixes. However, mix designs were found to influence the compressive strength of WA mixes. 30-WA mix was associated with an increase in compressive cube strength while quite similar compressive strength results were observed for the WA-45 mix. Strength development results were consistent with Luz Garcia (da Luz Garcia, 2013) who reported higher strength developments were reported at a very early age (3 d). As discussed in previous section, higher K<sub>2</sub>O content of WA may have increased the rate of hydration at 1 d. However, this was followed by lower compressive strength values for mixes containing WA which may be due to lower CaO and SiO<sub>2</sub> contents in WA compared to PC.

In addition, 28 d results are coherent with a previous study (Cheah & Ramli, 2011) which also reported similar compressive cube strengths at 5% WA replacement. WA particles were coarser compared to PC particles. This increment in the compressive strength could be due to WA acting as a bridge between the higher amount of coarse aggregate, compared to 45 MPa design strength mixes, and finer constituents and hence providing a denser matrix. This trend was not observed for 45-WA mixes due to the lower content of coarse aggregates. Kalra and Mehmood (Kalra & Mehmood, 2018) also reported that stiffer aggregate could produce stiffer concrete mix. This weakens the bond between the cement paste and the aggregates and results in lower strengths at early ages (<7 d). This was compensated at the later ages when either slightly lower or similar results were recorded. This refinement is believed to be due to the pozzolanic characteristics of WA. In general, the results agree with previous studies (Cheah & Ramli, 2011; Chowdury, Maniar, & Suganya, 2015; Udoeyo, Inyang, Young, & Oparadu, 2006) which indicated a 5% WA use did not have any remarkable negative influence on the

compressive cube strength. Nevertheless, it is in contrast with earlier studies (da Luz Garcia, 2013; Cheah & Ramli, 2011) which claimed that WA has non-glassy properties and acts as filler rather than having a pozzolanic property. From the environmental sustainability perspective, WA use did not have any adverse impact. Similar strength values with slightly reduced PC content could provide economically-efficient concrete production.

### 3.1.4. Water Permeability and Porosity

Water permeability and porosity test results at 28 d and 56 d are shown in Fig. 8. Lower water absorption values were found for WA mixes except for 45-WA at 56 d. The results were similar to compressive cube strength results, showing that WA mixes performed slightly higher compressive cube strengths except for 45-WA mix with slightly lower compressive strength. Test results showed a reduction from 28 d to 56 d. Compared to 30 MPa target design strength mixes, 45 MPa target design strength mixes had higher water permeability and porosity results which was not expected. This is believed to be better distribution of constituents for 30 MPa target design strength mixes compared to 45 MPa target design strength mixes. Permeability values were 13.2% and 11.1% for 30-PC and 5.7% and 4.2%, for 30-WA mix at 28 d and 56 d, respectively. Lower water permeability values of 30-WA mixes could be explained by better particle packing, as stated earlier based on compressive cube strength results. In addition, 45-PC water permeability values were 18.9% and 9.3% while values for 45-WA were 14.5% and 9.2% at 28 and 56 d respectively. An earlier study by Prabagar (Prabagar, Subasinghe, & Fonseka, 2015) also reported a decrease in water permeability up to 20% WA content at 21 d. On the contrary, existing studies found that 5% WA content increased water absorption by 0.4% (Udoeyo, Inyang, Young, & Oparadu, 2006) and approximately 2% (Kizinevic & Kizinevic, 2016).

WA use reduced the porosity of concrete mixes as seen in Fig. 8. WA is thought to be coarser compared to PC; therefore, this could be due to refinement of macro-pores through WA addition. Porosity values decreased between 28 d and 56 d due to the hydration process leading to a denser matrix, as suggested by the compressive cube strength results. Moreover, Pavlikova (Pavlikova, et al., 2018) also found reduction in porosity for WA content of 10% with a value of 13.6%. In this research, a considerably lower porosity value of 6.7% was obtained for 30-WA whereas 45-WA porosity had a similar value of 14.5%. Prabagar (Prabagar, Subasinghe, & Fonseka, 2015) reported pore refinement in the matrix for WA mix. Results might suggest better permeability for WA mixes, thus this could increase service life of concrete structure and lead to environmental and economic efficient production.

## 3.2. Sustainability Analyses

### 3.2.1. Environmental Sustainability

The eCO<sub>2</sub> emissions of produced mixes are presented in Fig. 9. The eCO<sub>2</sub> emissions were 343.7 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> and 422.9 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> for 30-PC and 45-PC concrete mixes respectively. The use of WA reduced eCO<sub>2</sub> emissions by 1.7% and 2.2% for 30-WA and 45-WA mixes, respectively. This reduction was due to replacing higher energy and CO<sub>2</sub> intensive PC by a waste material of WA. WA transportation distance was 57 km. Even though emissions through transportation were included in the calculations, minor reductions were achieved. The eCO<sub>2</sub> emissions reductions could be maximized by up to 4.4% for both WA mixes if the transportation emissions were not considered by using only 5% WA content. The results were in agreement with the previous study (Pavlikova, et al., 2018) that reported a 7.2% reduction in emissions at 10% WA. It could be stated that WA could be utilized in concrete production because PC is a high eCO<sub>2</sub> intensive material. Accordingly, replacing PC with 5% WA on a mass basis could still be environmentally feasible if obtained with lightweight duty vehicle (with 163.7 g CO<sub>2</sub>/km) from 91.7 km and 114.6 km distances for 30-WA and 45-WA mixes respectively. This increase was due to the amount of WA increasing from 20 kg/m<sup>3</sup> to 25 kg/m<sup>3</sup>. Thus, it is important to consider using WA for mass production to maximize its environmental benefits. Allocation of eCO<sub>2</sub> emissions through transportation and production is shown in Fig. 10. Production percentage increased as the concrete target design strength increased due to the increase in the PC content. WA use contributed to overall eCO<sub>2</sub> emissions by 9.3 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Concerning emissions from transportation, emissions increased by 2.8% and 2.4%, for 30-WA and 45-WA, respectively, compared to conventional mixes. The results suggested that if recycling facilities were located closer to the concrete production site, transportation emissions could be either minimized or eliminated. Cumulative collection of WA could increase its availability and this will encourage industry to utilize WA in mass concrete production. Thus, local regional bodies should integrate carbon emissions reduction policies and consider solid waste collection for the promotion of sustainable development.

The relationship between the eCO<sub>2</sub> emissions and 28 d compressive cube strengths of mixes are represented in Table 7. WA mixes release lower eCO<sub>2</sub> emissions compared to PC mixes to achieve 1 MPa. However, values of 9.6 kg CO<sub>2</sub>/MPa and 8.8 kg CO<sub>2</sub>/MPa for 30-WA and 45-WA, respectively, are quite higher compared to those reported earlier (Pavlikova, et al., 2018) which found 7.7 kg CO<sub>2</sub>/MPa and 6.7 kg CO<sub>2</sub>/MPa for control and 10% WA mixes. This is believed to be due to the lack of natural raw materials required their importations from abroad and eCO<sub>2</sub> emissions associated with their transportation rose up accordingly.



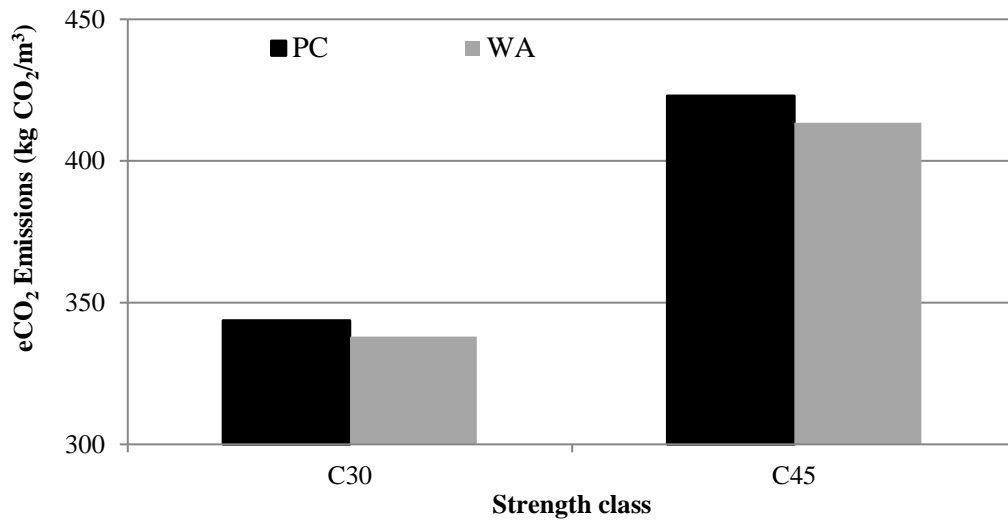


Figure 9. The eCO<sub>2</sub> Emissions of Developed Mixes

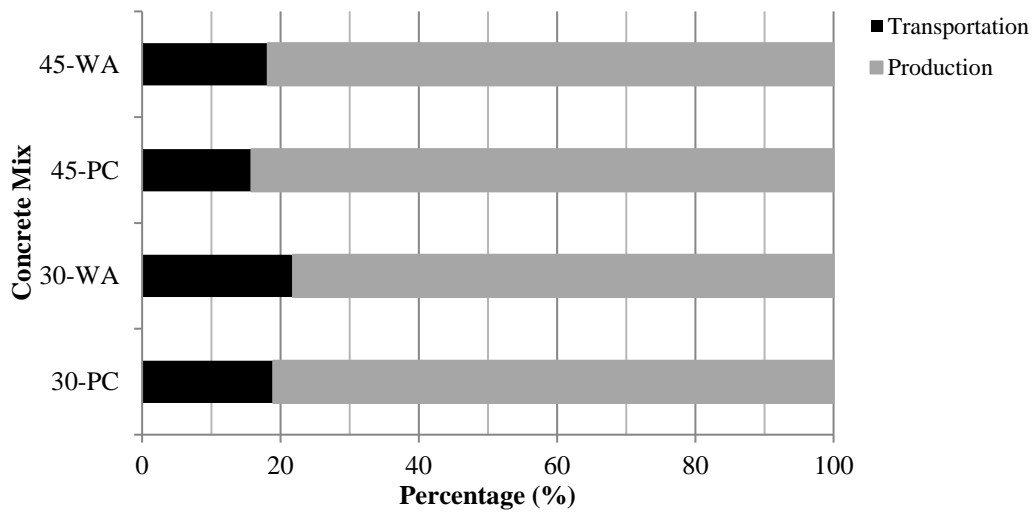
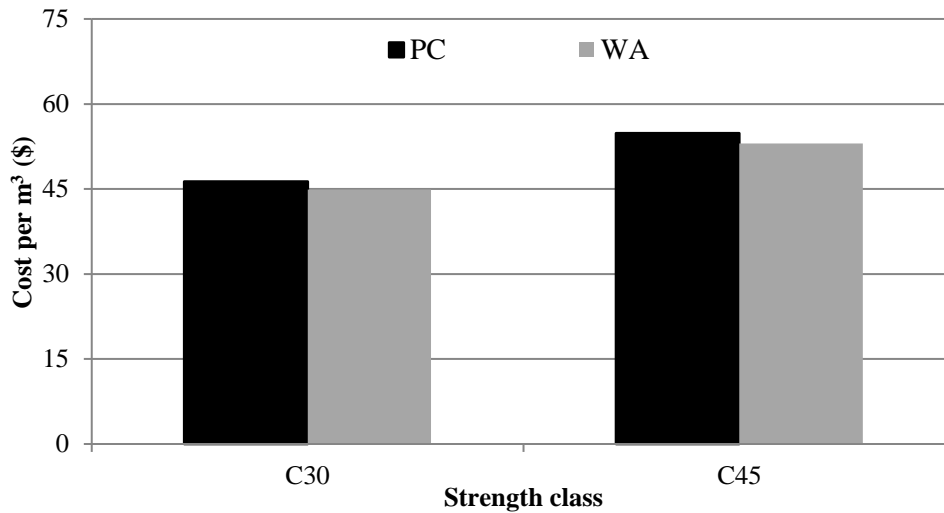


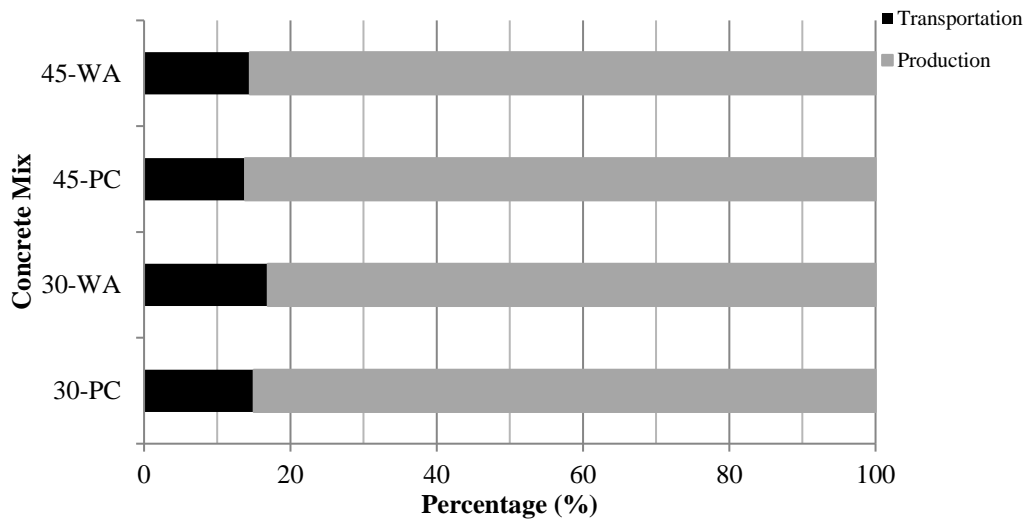
Figure 10. Allocation of the eCO<sub>2</sub> Emissions of Developed Mixes Through Transportation and Production

Table 7. The Relationship Between Environmental and Economic Sustainability and 28d Compressive Strength

Design Strength (MPa)	Concrete Mix	Environmental impact / 28 d strength (kg CO <sub>2</sub> / MPa)	Economic impact / 28 d strength (\$ / MPa)
30	PC	10.9	1.5
	WA	9.6	1.3
45	PC	9.1	1.2
	WA	8.8	1.1



*Figure 11. Cost of Mixes Developed*



*Figure 12. Distribution of Cost of Developed Mixes Through Transportation and Production*

**3.2.2. Economic Sustainability**

Costs of produced concrete are expressed in Fig. 11. It is clear from the results that WA incorporation reduced the overall cost by 3.2% and 3.4% for 30-WA and 45-WA mixes, respectively, compared to the PC mixes. Earlier research by Cheah (Cheah & Ramli, 2012) also reported cost reduction when using WA. In addition, the distribution of the cost of produced mixes through transportation and production is shown in Fig. 12. It is seen that the production process of WA mixes had higher cost due to transportation compared to PC mixes. This is due to delivering WA from longer distances, which contributes to higher emissions through transportation. Moreover, replacing PC with a cost-free WA waste led to a reduction of cost through production. The results showed that WA use could be an economically-efficient practice if being delivered from a distance of 83.6 km and 90.1 km for 30-WA and 45-WA mixes, respectively, based on light-duty vehicle consuming 6.4 litres of petrol per 100 km. Table 7

reveals the relation between the costing and 28d strength of developed concretes. WA addition had lower cost of mixes per 1 MPa for both strength classes.

**3.2.3. Social Sustainability**

**3.2.3.1. Sound Permeability**

Sound permeability values and index reduction of impact noise are presented in Table 8. It is seen that WA incorporation reduces the sound permeability property of concrete mixes. The results are consistent with an earlier study (Bostanci, 2019). It is also reported earlier (Arenas, et al., 2011) that total surface area, pore diameter, shape and texture of aggregates and micropores determine the sound absorption of concrete. WA use reduced the total surface area and thereby sound permeability. The reduction index of impact noise results was consistent with the range (17-22 dB) defined earlier (Desarnaulds, Costanzo, Carvalho, & Arlaud, 2005) for sheep wool, wood wool and cellulose materials.

The relation between sound permeability and porosity is given in Fig. 13. Both PC and WA mixes showed good correlation between permeability and porosity, having values of  $R^2=0.98$  and  $R^2=0.90$  respectively. Recent building assessment tools pay attention to acoustically effective construction materials to enhance the occupants' life quality, and thus, WA use in concrete production could be a potential contribution in this respect.

### **3.2.3.2. Thermal Conductivity**

Table 9 gives the thermal conductivity values of the laboratory mixes. No clear trend was observed for thermal conductivity test results. Higher thermal conductivity values were found for PC mixes except for 30-PC at 28 d. Khaliq (Khaliq & Kodur, 2011) stated that a higher amount of chemical admixtures may increase dissolved chemical ions in water and increase thermal conductivity. An earlier study by Venkataraman (Venkataraman, Mishra, & Militky, 2017) stated that material density, moisture content and ambient temperature could affect the thermal conductivity of concrete. An increase in thermal conductivity for 30-WA at 28 d could be explained by either ambient temperature during air drying or higher bulk density compared to conventional mix. It is also consistent with Prabagar (Prabagar, Subasinghe, & Fonseka, 2015) and Pavlikova (Pavlikova, et al., 2018) who stated that 15% and 10% WA addition could contribute to higher thermal conductivity. It is also noteworthy to mention that values obtained from thermal conductivity test was higher than the values reported by Pavlikova (Pavlikova, et al., 2018) which were 1.90 W/m.K and 1.79 W/m.K, for compressive strengths of 64.5 MPa and 58.4 MPa, and mixes with 10% and 15% WA respectively. WA mixes had lower values compared to PC mixes at 56 d. It is believed that the contribution of pozzolanic reactions improved pore structure and lowered thermal conductivity between 28 d and 56 d. Test results for 56 d contribute to the literature on the thermal conductivity performance of WA mixes since the existing studies have assessed the thermal conductivity performance of WA mixes at 28 d. In addition, Demirboga (Demirboga, 2007) stated that lower thermal conductivity could be linked with the lower thermal conductivity of minerals with amorphous characteristics. Thermal conductivity values increase as the target strength increased. This is consistent with Ngohpok (Ngohpok, Satiennam, Klungboonkrong, & Chindaprasirt, 2018) who reported higher thermal conductivity as the filling paste ratio advanced. In general, WA could be potentially used for sustainable construction practices to increase thermal resistance and maintain the thermal comfort of the occupants as well as decrease energy demand.

### **3.2.4. Overall Sustainability Perspective**

Environmental, economic and social facets of sustainability are interconnected with each other in that the success of sustainability is based on the integration of all three facets. From the traditional application perspective, the usual trend includes the use of PC for most of the applications. Partial incorporation of WA in concrete production could slightly reduce the demand for PC use and, thereby the environmental footprint of concrete. It is worthy to consider that the global PC content has reached approximately 3 billion tons (Timperley, 2018). Huising (Huising, Zhang, Moore, Qiao, & Li, 2015) stated that 90% of these emissions were generated through clinker use. The use of WA could also reduce the contribution of eCO<sub>2</sub> emissions to greenhouse gases associated with concrete production and

thereby to global warming. Cyprus is one of the countries that will be affected directly due to its geographical location. If the level of greenhouse gases is maintained, the average temperature is expected to increase between 1°C and 3°C in the following decades, which will also reduce the amount of rainfall (The Cyprus Institute, n.d.). This will increase the energy demand especially in hot weather conditions, and reduce agricultural production due to lower rainfall. The reduction in water sources may increase the water prices, which could affect economic and social sustainability and threaten the living habitat in Cyprus. Reduced availability of natural raw in the future and the increased price of water will inevitably increase the cost of concrete, reducing the affordability of construction. From both environmental and economic perspectives, earlier studies (Prabagar, Subasinghe, & Fonseka, 2015; Siddique, 2012; Cheah & Ramli, 2011) stated that disposal of waste materials will be a global concern due to the limited availability of virgin lands for disposal. Since Cyprus is a small island with limited lands will be of significant concern and a governmental priority in the near future. This will eventually force the government to increase tax for the disposal of waste materials which will require proper disposal strategy on national and international basis. Previous research by Huising (Huising, Zhang, Moore, Qiao, & Li, 2015) suggested the need for societal radical transformation towards a low carbon economy by implementing suitable climate policies. The use of WA in concrete production could contribute to social, environmental and economic sustainability by preventing waste material from being sent to landfill, decreasing the amount of natural raw materials used and thereby maintaining the overall cost of the concrete. Furthermore, Cheah (Cheah & Ramli, 2011) stated that WA could result in contamination of ground water through leaching of heavy metals from rain, posing a risk to health due to airborne of WA under windy conditions. These risks will be minimized if WA is handled, stored and used responsibly in concrete production.

Table 10 gives the optimum distances to environmentally-friendly and cost-effective concrete production. The results showed that WA use could be a sustainably feasible approach for reducing the total PC content and thereby natural raw materials associated with its production to lower eCO<sub>2</sub> emissions of concrete if they can be supplied from distances of up to 91.7 km and 83.6 km for 30-WA and 45-WA, respectively. The results of this study showed that WA use could maximise sustainability performance if greater replacement levels are used. The results also suggest that the WA incorporation could promote sustainable concrete production.

### **3.3. Effect of Wood Ash on Concrete**

Considering the results of the tests conducted, WA have varying effect on concrete properties through its chemical and physical properties. Even though WA has coarser particle size as revealed in Fig. 1, WA is believed to provide better uniform distribution and act as a bridge between finer and coarser constituent particles. This is believed to improve interfacial transition zone (ITZ) and lead to more compact structure. Due to its compact characteristics, porosity property of WA mixes was reduced. This is more obvious in C45 mix compared to C30 mix which fine and coarse aggregate contents have quite similar closer quantities. Even though WA had lower CaO and SiO<sub>2</sub> contents, increased ITZ could be attributed to increased Calcium Silicate Hydrate gel at early stage through more uniform characteristics and increased reactivity rate due to higher content of K<sub>2</sub>O. This

was observed to increase the density. Improved ITZ could potentially improve durability which is a function of sustainability. Thus, WA addition could lead to increased service life through enhanced durability. On the contrary, coarser particle size of WA slowed down the rate of pozzolanic activity at post 14 d. WA incorporation, as a consequence, results in increase in thermal conductivity and sound permeability.

#### 4. Conclusions and Recommendations

Scientific knowledge on the waste incorporated concrete production is crucial for the promotion of sustainable development. The results obtained could reveal technical information on the feasibility of concrete mixes made with 5% WA from the basic engineering and sustainability perspectives. The main conclusions of this study are expressed below;

- WA addition could achieve similar performances as conventional PC mix. Slump properties indicate that WA use does not require extra water content and superplasticizer to achieve target workability.
- WA incorporation increased the bulk densities by 0.99% and 0.21% for 30-WA and 45-WA respectively.
- Two different trends were found for compressive cube strength developments for 30-WA and 45-WA mixes. The results suggest that mix proportioning has an important effect on the efficiency of WA. WA use achieved similar compressive cube strengths at both 7 d and 28 d for both mixes. Compressive strength gains ranged from 9% to 22% for 30-WA mix while losses and gains for 45-WA mix were between -17% and 17% from 1 d to 56 d.
- Tests investigating social sustainability related properties showed that WA could be used to create acoustically and thermally effective concrete applications for better health and well-being of the occupants.
- 30-WA mix had lower water permeability and porosity while similar results were obtained for 45-WA mix compared to conventional PC mixes. Both PC and WA mixes had strong correlations between water permeability and porosity properties.
- WA mixes could decrease eCO<sub>2</sub> emissions by 1.7% and 2.2%, and overall cost by 3.2% and 3.4%, for 30-WA and 45-WA mixes respectively, compared to PC mixes. The results of this study revealed that WA mixes could be environmentally and economically feasible approach if obtained from 83.6 km and 90.1 km distances.
- It is important to point out that this study reviews concrete strength classes of C30 and C45. Other concrete classes and higher replacement levels for WA in concrete are further recommended to be investigated.
- It is also recommended by the author that WA having different particle sizes should be also investigated in concrete production to monitor the effect of WA particle size on concrete properties.

WA use could be a more feasible approach from the sustainability perspective if carbon reduction policies are put into action.

#### 5. Acknowledge

The author would like to express his gratitudes to individuals; Mrs. Tuğçe Mani, Kemal Sergen and Metin Eray, and companies; Boğaziçi Endüstri Madencilik Ltd. and KASCON Ready-mix Concrete Company and Nayat Yapı Ltd. for their contribution to this research.

#### References

- Abbasi, M., & Nilsson, F. (2016). Developing environmentally sustainable logistics: Exploring themes and challenges from a logistics service providers' perspective. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 273-283. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.04.004>.
- Abdullahi, M. (2006). Characteristics of Wood ASH/OPC Concrete. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 9-16.
- Akadiri, P., Chinyio, E., & Olomolaiye, P. (2012). Design of A Sustainable Building: A Conceptual Framework for Implementing Sustainability in the Building Sector. *Buildings*, 126-152. <https://doi.org/10.3390/buildings2020126>.
- Alyamac, K. E., Ghafari, E., & Ince, R. (2017). Development of eco-efficient self-compacting concrete with waste marble powder using the response surface method. *Journal of Cleaner Production*, 192-202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.156>.
- Arenas, C., Vilches, L., Cifuentes, H., Leiva, C., Vale, J., & Fernandez-Pereira, C. (2011). Development of Acoustic Barriers Mainly Composed of Co-combustion Bottom Ash. *World of Coal Ash (WOCA) Conference*. Denver: University of Kentucky.
- Asadi, I., Shafiq, P., & Mahyuddin, N. (2018). Concrete as a thermal mass material for building applications - A review. *Journal of Building Engineering*, 81-93. <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.04.021>.
- Ashish, D. (2018). Feasibility of waste marble powder in concrete as partial substitution of cement and sand amalgam for sustainable growth. *Journal of Building Engineering*, 236-242. <https://doi.org/10.1016/j.job.2017.11.024>.
- Aydin, E., & Arel, H. Ş. (2019). High-volume marble substitution in cement-paste: Towards a better sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 117801. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117801>.
- Barbulescu, G., & Lafargue, R. (2016). *Improving social sustainability through comfortable outdoor spaces*. Constanta: Transsolar Academy.
- Bostanci, S. C. (2019). Utilisation of wood ash for environmentally friendly concrete production. *Fifth International Conference on Sustainable Construction Materials and*. London: International Committee of the SCMT conferences.
- Bostanci, S. C., Limbachiya, M., & Kew, H. (2018). Use of recycled aggregates for low carbon and cost effective concrete construction. *Journal of Cleaner Production*, 176-196. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.090>.
- Brundtland, G. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oslo: United Nations.
- Cheah, B. C., & Ramli, M. (2011). The implementation of wood waste ash as a partial cement replacement material in the production of structural grade concrete and mortar: An



- overview. *Resources, Conservation and Recycling*, 669-685. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.02.002>.
- Cheah, C. B., & Ramli, M. (2012). Mechanical strength, durability and drying shrinkage of structural mortar containing HCWA as partial replacement of cement. *Construction and Building Materials*, 320-329. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.009>.
- Chowdury, S., Maniar, A., & Suganya, O. (2015). Strength development in concrete with wood ash blended cement and use of soft computing models to predict strength parameters. *Journal of Advanced Research*, 907-913. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2014.08.006>.
- Chowdury, S., Maniar, A., & Suganya, O. (2015). Strength development in concrete with wood ash blended cement and use of soft computing models to predict strength parameters. *Journal of Advanced Research*, 907-913. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2014.08.006>.
- Chowdury, S., Mishra, M., & Suganya, O. (2015). The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview. *Ain Shams Engineering Journal*, 429-437. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2014.11.005>.
- Climate Change Secretariat. (2008). *Kyoto Protocol Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amount*. Bonn: United Nations Framework Convention on Climate Change.
- da Luz Garcia, M. & Sousa-Coutinho, J. (2013). Strength and durability of cement with forest waste bottom ash. *Construction and Building Materials*, 897-910. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.081>.
- Demirboga, R. (2007). Thermal conductivity and compressive strength of concrete incorporation with mineral admixtures. *Building and Environment*, 2467-2471. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.010>.
- Desarnaulds, V., Costanzo, E., Carvalho, A., & Arlaud, B. (2005). Sustainability of acoustic materials and acoustic characterization of sustainable materials. *Proceedings of the 12th International Congress on Sound and Vibration*, (pp. 1-8). Lisbon.
- Ekinci, A., Hanafi, M., & Aydin, E. (2020). Strength, Stiffness, and Microstructure of Wood-Ash Stabilized Marine Clay. *Minerals*. <https://doi.org/10.3390/min10090796>.
- Elinwa, A., & Mahmood, Y. (2002). Ash from timber waste as cement replacement material. *Cement Concrete Composites*, 219-222. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00039-7](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00039-7).
- Federal Highway Administration. (2016). *Strategies for Improving Sustainability of Concrete Pavements*. Washington: US Department of Transportation.
- Hajek, P. (2017). Concrete Structures for Sustainability in a Changing World. *Procedia Engineering*, 207-214. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.328>.
- Hammond, G., & Jones, C. (2011). *Inventory of Carbon and Energy Version 2.0*. Bath: University of Bath.
- Huising, D., Zhang, Z., Moore, J. C., Qiao, Q., & Li, Q. (2015). Recent advances in carbon emissions reduction: policies, technologies, monitoring, assessment and modeling. *Journal of Cleaner Production*, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.098>.
- Ince, C. (2019). Reusing gold-mine tailings in cement mortars: Mechanical properties and socio-economic developments for the Lefke-Xeros area of Cyprus. *Journal of Cleaner Production*, 117871. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117871>.
- International Maritime Organization. (2014). *Third IMO Greenhouse Gas Study 2014*. Suffolk: International Maritime Organization.
- Jeon, C., Amekudzi, A., & Guensler, R. (2013). Sustainability assessment at the transportation planning level: Performance measures and indexes. *Transport Policy*, 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.10.004>.
- Kalra, M., & Mehmood, G. (2018). A Review paper on the Effect of different types of coarse aggregate on Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (pp. 1-7). Bristol: IOP Publishing.
- Kazmi, S., Munir, M., Wu, Y.-F., Hanif, A., & Patnaikuni, I. (2018). Thermal performance evaluation of eco-friendly bricks incorporating waste glass sludge. *Journal of Cleaner Production*, 1867-1880. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.255>.
- Khaliq, W., & Kodur, V. (2011). Thermal and mechanical properties of fiber reinforced high performance self-consolidating concrete at elevated temperatures. *Cement and Concrete Research*, 1112-1122. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.06.012>.
- Kizinevic, O., & Kizinevic, V. (2016). Utilisation of wood ash from biomass for the production of ceramic products. *Construction and Building Materials*, 264-273. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.124>.
- Leo Samuel, D., Dharmasastha, K., Shiva Nagendra, S., & Prakash Maiya, M. (2017). Thermal comfort in traditional buildings composed of local and modern construction materials. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 463-475. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.08.001>.
- Meddah, M. S. (2017). Recycled aggregates in concrete production: engineering properties and environmental impact. *MATEC Web Conferences Sriwijaya International Conference on Engineering, Science and Technology* (p. 05021). Paris: EDP Sciences.
- Mishra, G. (2020). *Elements or Components of Green Building-Material, Water, Energy Health*. Retrieved June 29, 2020, from The Constructor – Civil Engineering Home for Civil Engineers: <https://theconstructor.org/building/elements-of-green-building/5375/>
- Naik, T. R., Kraus, R. N., & Siddique, R. (2002). *Demonstration of Manufacturing Technology for Concrete and CLSM Utilizing Wood Ash from Wisconsin*. Milwaukee: The University of Wisconsin.
- Naik, T. R., Kraus, R. N., & Siddique, R. (2003). Controlled Low-Strength Materials Containing Mixtures of Coal Ash and New Pozzolanic Material. *ACI Materials Journal*, 208-215.
- Ngohpok, C., Satiennam, T., Klungboonkrong, P., & Chindaprasirt, P. (2018). Mechanical Properties, Thermal Conductivity, and Sound Absorption of Pervious Concrete Containing Recycled Concrete and Bottom Ash Aggregates. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 1369-1376. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-0144-6>
- Onuaguluchi, O., & Eren, Ö. (2016). Reusing copper tailings in concrete: corrosion performance and socioeconomic implications for the Lefke-Xeros area of Cyprus. *Journal of Cleaner Production*, 420-429. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.036>.
- Pavlikova, M., Zemanova, L., Pokorný, J., Zaleska, M., Jankovsky, O., Lojka, M., . . . Pavlik, Z. (2018). Valorization of wood chips ash as an eco-friendly mineral admixture in

- mortar mix design. *Waste Management*, 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.004>.
- Pedreño-Rojas, M., Morales-Conde, M., Pérez-Gálvez, F., & Rodríguez-Liñán, C. (2017). Eco-efficient acoustic and thermal conditioning using false ceiling plates made from plaster and wood waste. *Journal of Cleaner Production*, 690-705. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.077>.
- Plati, C. (2019). Sustainability factors in pavement materials, design, and preservation strategies: A literature review. *Construction and Building Materials*, 539-555. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.242>.
- Prabagar, S., Subasinghe, K., & Fonseka, K. W. (2015). Wood Ash as an Effective Raw Material For Concrete Blocks. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 228-233.
- Ramos, T., Matos, A., & Sousa-Coutinho, J. (2013). Mortar with wood waste ash: Mechanical strength carbonation resistance and ASR expansion. *Construction and Building Materials*, 343-351. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.026>.
- Rissanen, J., Giosue, C., Ohenoja, K., Kinnunen, P., Marcellini, M., Ruello, M., Illikainen, M. (2019). The effect of peat and wood fly ash on the porosity of mortar. *Construction and Building Materials*, 421-430. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.228>.
- Rossit, G., & Lawson, M. (2012, September 21). Material LIFE: The Embodied Energy of Building Materials. Toronto.
- Ruan, S., & Unluer, C. (2017). Influence of supplementary cementitious materials on the performance and environmental impacts of reactive magnesia cement concrete. *Journal of Cleaner Production*, 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.044>.
- Sanal, I. (2018). Discussion on the effectiveness of cement replacement for carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emission reduction in concrete. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 366-378. <https://doi.org/10.1002/ghg.1748>.
- Sanal, I. (2018). Significance of Concrete Production in Terms of Carbondioxide Emissions- Social and Environmental Impacts. *Journal of Polytechnic*, 369-378. DOI: 10.2339/politeknik.389590
- Santos, B., Limbourg, S., & Carreira, J. (2015). The impact of transport policies on railroad intermodal freight competitiveness – The case of Belgium. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 230-244. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.015>.
- Scrivener, K. L., John, M. V., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO<sub>2</sub> cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>.
- Shi, C., Qu, B., & Provis, J. (2019). Recent progress in low-carbon binders. *Cement and Concrete Research*, 227-250. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.05.009>.
- Shiau, T.-A., & Liu, J.-S. (2013). Developing an indicator system for local governments to evaluate transport sustainability strategies. *Ecological Indicators*, 361-371. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.06.001>.
- Siddique, R. (2012). Utilization of wood ash in concrete manufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, 27-33. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.07.004>.
- The Cyprus Institute. (n.d.). *Climate Change and Impact*. Retrieved June 28, 2020, from The Cyprus Institute: <https://www.cyi.ac.cy/index.php/eevrc/eevrc-research-projects/climate-change-and-impact.html>
- Timperley, J. (2018, September 13). *Why cement emissions matter for climate change*. Retrieved June 29, 2020, from Carbon Brief => Clear on Climate: <https://www.carbonbrief.org/qa-why-cement-emissions-matter-for-climate-change>
- Turkish Standards Institution. (2009). *TS 706 EN 12620+A1 - Aggregates for Concrete*. Ankara: Turkish Standards Institution.
- Turkish Standards Institution. (2012). *TS EN 197-1 - Cement - Part 1: Composition, Specification and Conformity Criteria for Common Cements*. Ankara: Turkish Standards Institution.
- Udoeyo, F., Inyang, H., Young, D., & Oparadu, E. (2006). Potential of Wood Waste Ash as an Additive in Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 605-611. DOI:10.1061/(ASCE)0899-1561(2006)18:4(605).
- United Nations. (2015, December 12). Paris Agreement. Paris, France: United Nations. Retrieved June 28, 2020
- Venkataraman, M., Mishra, R., & Militky, J. (2017). Comparative analysis of high performance thermal insulation materials. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 401-409. DOI: 10.15406/jteft.2017.02.00062.
- World Green Building Council. (2020). *Rating tools - World Green Building*. Retrieved June 29, 2020, from Home - World Green Building: <https://www.worldgbc.org/rating-tools>
- World Health Organization (1999) Guidelines for Community Noise. Geneva. World Health Organization, <https://www.who.int/docstore/peh/noise/Comnoise-1.pdf>.
- Yilmaz, M., Tokyay, M., & Yaman, I. O. (2016). Cement Production by Cement-bonded Wood Particleboard Wastes. *Advances in Cement Research*, 233-240. <https://doi.org/10.1680/jadcr.15.00023>.
- Zito, P., & Salvo, G. (2011). Toward an urban transport sustainability index: an European comparison. *European Transport Research Review*, 179-195. <https://doi.org/10.1007/s12544-011-0059-0>.



# Relief Özellik Seçim Yöntem Tabanlı Önerilen Hibrit Model ile Kalp Hastalığı Teşhisi

Atınç Yılmaz<sup>1\*</sup>, Eda Sümer<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0038-7519), [atincyilmaz@beykent.edu.tr](mailto:atincyilmaz@beykent.edu.tr)

<sup>2</sup> Beykent Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği A.B.D, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1792-9687), [sumereda9@gmail.com](mailto:sumereda9@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 31 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 12 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1017054)

**ATIF/REFERENCE:** Yılmaz, A., Sümer, E. (2021). Relief Özellik Seçim Yöntem Tabanlı Önerilen Hibrit Model ile Kalp Hastalığı Teşhisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 609-615.

## Öz

Bilgi teknolojileri insan hayatının ve günlük yaşantının her alanında önemli bir yer kaplamaktadır. Günümüzde bilgi sistemleri ve teknolojileri sayesinde insan sağlığından, endüstri ve ekonomi alanlarına kadar her alanda fayda sağlanmaktadır. Kan damar hastalıkları, kalp ritmi problemleri ve bunların yanında doğuştan gelen kalp kusurları insan hayatı için önemli ölçüde risk taşıyan kalp hastalıkları başlığı altında yer almaktadır. Bu çalışmada, kalp hastalıklarının cinsiyet, göğüs ağrısı, kolesterol gibi özellikler ele alınarak sık kullanılan makine öğrenmesi yöntemleri olan logistik regresyon (LR), karar ağaçları (KA), çok katmanlı yapay sinir ağları (YSA), K-en yakın komşular (KNN), naif bayes (NB), destek vektör makineleri (SVM) ve önerilen Relief özellik çıkarım yöntem tabanlı hibrit bir yöntem ile kalp hastalıkları için tespit analizi yapılmıştır. Uygulanan yöntemlerin performans değerleri birbirleri ile karşılaştırılarak ilgili problem için optimum model ortaya konmuştur. Yapılan değerlendirmeler sonucunda ise önerilen hibrit modelin diğer makine öğrenmesi yöntemlerine göre hem doğruluk performans ölçütleri hem de zamansal açıdan daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Makine öğrenmesi, Relief özellik çıkarım, Hibrit model, Kalp hastalığı.

## Diagnosis of Heart Disease with Proposed Hybrid Model Based on Relief Feature Selection

### Abstract

Information technologies occupy an important place in all areas of human life and daily life. Today, when it comes to information systems and technology, benefits are provided in every field from human health to industrial and economic fields. Blood vessel diseases, heart rhythm problems and congenital heart defects are heart diseases that pose a great risk to human life. In this study, the most widely applied machine learning algorithms such as logistic regression (LR), decision trees (DT), multilayer artificial neural networks (ANN), K-nearest neighbors (K-NN), naive bayes (NB), support vector machines (SVM) were used and proposed Relief feature selection-based hybrid method. The characteristics of heart diseases such as gender, chest pain, cholesterol was considered by using these methods and the results were discussed. The performance values of the applied methods were compared with each other and the optimum model for the related problem was revealed. As a result of the evaluations, it was observed that the proposed hybrid model was achieved better results than other machine learning methods in terms of both accuracy performance measures and process time.

**Keywords:** Machine learning, Relief feature extraction, Hybrid model, Heart disease.

\* Sorumlu Yazar: [atincyilmaz@beykent.edu.tr](mailto:atincyilmaz@beykent.edu.tr)



## 1. Giriş

İnsan dünyada var olduğundan itibaren konaklama, beslenme, ısınma gibi çeşitli ihtiyaçları ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaçlar insanların hayatlarını sürdürebilmeleri açısından temel değerler olarak yer almaktadır. Bu temel değerlerin olmaması veya eksik olması durumunda insanların yaşam süreleri boyunca kalıtsal ya da çevre faktörü nedeniyle bazı hastalıklar ortaya çıkmıştır. Bu hastalıklardan biri de kalp rahatsızlıklarıdır. Kalp hastalıkları taşıma damarında ya da ana damarlarında oluşabilen tıkanıklık, kalp odacıklarında ya da kalp kapakçıklarında oluşan bir sorundan dolayı ortaya çıkan tedavisi mümkün olan ve erken teşhis edildiği zaman birçok hayatın kurtarıldığı hastalıklardır. Kalp rahatsızlıkları göğüs ağrısı, çabuk yorulma, nefes alamama ve bayılma gibi etkileri olup hayat standartlarını büyük ölçüde etkileyen rahatsızlıklardır [1]. Hastaların ağrı çeşitlerine, yaşlarına, cinsiyetlerine, kanlarındaki şeker ve yağ oranları gibi değerlere göre teşhis konulabilir. Ancak rahatsızlık ilerlemiş ise tedavi sürecine hayat boyu ilaç kullanımı zorunlu hale gelebilmektedir. Bu durumdan ötürü de kişinin günlük yaşamı fazlasıyla etkilenmektedir. Bu nedenle erken tanı hastalık ilerlemeden konulmalıdır.

Dünya genelinde ölümcül hastalıklar içerisinde, kalp ve damar hastalıkları bütün ölüm sebepleri arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Serebrovasküler hastalıklar ve kalp hastalıkları sıralamada ilk iki ölüm nedenini oluşturmaktadır. Dünya çapında kalp ve damar hastalıkları ölüm sebebi olarak ilk sıralarda yer almaya devam edeceği öngörülmektedir [1]. Kalp hastası olan ve olmayan insanlardan toplanan yaş, cinsiyet, hastalık durumu, şeker hastalığı, kolesterol vb. veriler ile makine öğrenimi teknikleri uygulanarak hastalığın önceden tespiti konusunda çalışmalar yapıp, erken tanı konabilmektedir.

Makine öğrenmesi; veriler üzerinden bilinmeyenlere dair tahminlerde bulunan ve zaman içinde doğruluğunu artıran sistemlerin bilgisayar ile modellenmesini sağlayan yapay zekâ alt bilim dalıdır. Makine öğrenmesinin temelinde; veriler üzerinden tecrübe ve deneyimi aktararak problemin öğretilmesi ve bu sayede problemlere yaklaşım sağlanabileceği bulunmaktadır. Öğrenme sürecinin ardından, herhangi bir dış müdahale yapılmadan sistemin davranışlarını bu öğrenime göre ayarlamak amaçlanmıştır. Makine öğrenmesi, öğrenebilme yeteneğine sahiptir. Öğrenebilme yeteneğini veri türlerine dayalı olarak algoritmalar sayesinde yapmaktadır. Makine öğrenimi, bu algoritmaların tasarım ve geliştirme süreçlerini konu edinir.

Tıp alanında teknolojiye dayanarak ortaya konan çalışmalar bulunmaktadır. Bununla birlikte literatürde kalp hastalıkları için erken tanı konması konusunda da çalışmalar yer almaktadır. Palaniappan ve ark. (2008) ve Srinavas ve ark. (2010), ve veri madenciliği tekniklerini kullanarak sağlık durumunu ve kalp krizini tahmin etmek için iki ayrı çalışma yürütmüştür [2,3]. Heart-c, Heart-h ve Heart-statlog, UCI [4] veri setleri kullanılarak Weka yazılımı ile sınıflandırma yapılmıştır. UCI veri setleri ile yapılan çalışmalarda Entropi ve ANFIS (Adaptive Neural Fuzzy Inference System) kullanılarak yüksek performans elde edildiği belirtilmektedir [5]. Jin ve ark. (2009), EKG sinyallerini cep telefonu tabanlı giyilebilir bir cihazla gerçek zamanlı ve sürekli olarak izlemiş; üretilen sinyal kayıtları anormal durumları tespit etmek ve önlemek için kullanılmıştır [6]. Bu çalışmada Android ortamında makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Gömülü elektronik sistem ve cep telefonu yardımıyla EKG izleme ve ritim sınıflandırma

sistemi kurularak sistem taşınabilir hale getirilmiştir. Bulut (2010), yapmış olduğu bir çalışma ile kalp krizi nedenlerinden olan yüksek tansiyonun %87.89 oranında etki sağladığını ortaya koymuştur [7]. Bu çalışmada Adaboost algoritması kullanılmıştır. Anbarasi (2010), Genetik Algoritmalar (GA) yardımıyla kalp hastalıklarına neden olan en önemli faktörleri belirlemeye çalışmıştır [8]. Kalp hastalığına neden olan 13 faktör arasında en sık rastlanan faktörler GA tarafından belirlenmiştir. Ayrıca saptanan faktörler farklı sınıflandırma algoritmaları ile modellenerek tespit yapılmıştır. Boyraz ve ark. (2014), tarafından yapılan bir başka makine öğrenimi çalışmasında yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak erken tanı konusunda %90 başarı oranı elde edilmiştir [9]. Kartal (2015), makine öğrenimi yöntemlerini kullanarak yaptıkları çalışmada kardiyak risk tespiti yapmıştır. Çalışmada en yüksek oran %98.2 doğruluk oranı olarak karar ağacı yöntemi ile ortaya konulmuştur [10]. Mohan ve ark. (2019). kardiyovasküler hastalık tahmininde makine öğrenme algoritmalarını kullanarak, doğruluk oranını arttırabilecek hibrit bir model önermişlerdir [11]. Önerilen model rastgele orman ve lineer regresyon yöntemlerinin hibrit olarak kullanılması ile uygulanmıştır. Çalışma sonucunda önerilen hibrit model, %88.7 doğruluk oranı ile başarı elde edilmiştir. Latha ve ark. (2019). topluluk sınıflandırma tekniklerine dayalı olarak kalp hastalığı riskinin tahmin doğruluğunun iyileştirilmesi konusunda çalışma gerçekleştirmişlerdir [12]. Çalışmada 303 örnekten oluşan Cleveland veri seti kullanılmış; çoklu sınıflandırıcıları birleştirerek algoritmaların doğruluğunu geliştirmek için topluluk sınıflandırılması yöntemi üzerine yoğunlaşmıştır. Sonuç olarak topluluk sınıflandırılması desteği ile problem için zayıf kalan sınıflandırıcılar için %7 oranında doğruluk artışı sağlanmıştır. Gazeloğlu (2020), kalp hastalığı teşhisi için 18 farklı makine öğrenme algoritması ve 3 özellik seçme yöntemi kullanmıştır [13]. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre öznelik seçimi yapılmadan en yüksek doğruluk oranına destek vektör makinesi %85.14 ile ulaşılırken; bulanık öznelik seçimi kullanıldıktan en başarılı yöntem %84.81 ile Naïf Bayes modeli olmuştur. Pavithra ve ark. (2020), makine öğrenme yöntemlerini kullanarak kalp hastalığı tahmini üzerinde çalışma gerçekleştirmişlerdir [14]. Çalışmada rastgele orman, AdaBoost ve Pearson korelasyon katsayısı yöntemlerini birlikte kullanarak hibrit özellik seçim tekniği önerilmiştir. Önerilen hibrit yöntem sayesinde en nitelikli 11 özellik seçilerek doğruluk oranı %2 seviyesinde arttırılmıştır. Küçükakçalı ve ark. (2020), kalp yetmezliğine bağlı ölüm riski üzerine veri madenciliği yöntemlerini uygulamışlardır [15]. Uyguladıkları modellemede ilişki sınıflandırma yöntemleri baz alınmıştır. Chicco ve ark. (2020), kalp yetmezliği konusunda risk faktörlerini analiz edilmesi için makine öğrenme yöntemlerini kullanmışlardır [16]. Uygulanan modeller arasında en yüksek doğruluğa lojistik regresyon yöntemi ile %83.8 ile ulaşılmıştır. Gürfidan ve ark. (2021), en sık kullanılan altı makine öğrenme yöntemini uygulayarak kalp hastalığı tahmini üzerinde çalışmışlardır [17]. Algoritmalar kıyaslandığında ilgili problem için en başarılı yöntem %83 doğruluk oranı ile destek vektör makineleri olmuştur. Coşar ve ark. (2021), makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak kalp hastalıklarını tespit etmişlerdir [18]. Çalışmada rastgele orman, K-NN ve lojistik regresyon yöntemleri uygulanmış; rastgele orman algoritması %88 ile en yüksek doğruluk oranına ulaşmıştır. Potur ve ark. (2021), kalp yetmezliği hastalarının riskinin azaltılması için sınıflandırma algoritmaları kullanmışlardır [19]. Naïf Bayes, lojistik regresyon, çok katmanlı algılayıcı, destek vektör makineleri ve J48 karar ağacı algoritması çalışmada ilgili problemin çözülmesi için uygulanmıştır. Modeller karşılaştırıldığında %90



doğruluk oranı ile çok katmanlı algılayıcılar en yüksek başarıyı elde etmiştir. Reddy ve ark. (2021), çalışmalarında kalp hastalığı risk tahmi için makine öğrenmesi algoritmalarını kullanmışlardır [20]. 10 farklı yöntem optimum algoritmanın ortaya konması için seçilmiş; ayrıca 10 kat çapraz doğrulama ile algoritmaların performansları değerlendirilmiştir. Çalışmada lojistik regresyon yöntemi en yüksek ROC alanı değerine 0.91 ile ulaşmıştır.

Bu çalışmada UCI veriseti kullanılarak kalp hastalığı tespiti için Relief özellik seçim tabanlı iki fazlı hibrit bir model önerilmiştir. Önerilen modelin uygulanabilirliğinin ortaya konması için en sık kullanılan 6 makine öğrenmesi yöntemleri de aynı probleme uygulanmış daha sonra uygulanan tüm modellerin performans karşılaştırılması yapılmıştır.

Çalışmanın ilk kısmında kalp rahatsızlıkları türleri, semptomları, neden ve sonuçları, erken tanının önemi gibi bilgiler verilmiştir. İkinci kısımda çalışmada kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları ve verisetinden bahsedilmiştir. Sonraki bölümde uygulamadan bahsedilirken; son bölümlerde ise elde edilen sonuçlar paylaşılmış ve tartışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Veriseti

Çalışmada kullanılan veriseti UCI açık kaynak veri deposunda yer alan kalp hastalığı verisetidir [21]. İlgili veriseti kalp hastalığı teşhisi ile ilgili Cleveland Kliniğinin ait verisetini içermektedir. Veriseti, sayısal değerli 76 parametre içermektedir. Fakat yapılan çalışmalar için 76 öznitelik arasında 13 giriş özniteliklerinin sınıflandırma için daha önemli olduğu literatürde yapılan çalışmalarda belirtilmiştir [21]. Bu öznitelikler; yaş, cinsiyet, göğüs ağrı tipi, kan basıncı, kolestorol değeri, aç iken kan şekeri değeri, elektrokardiyografi sonucunu, maksimum kalp atım hızı, egzersize bağlı angina, egzersizin neden olduğu ST, ST segmenti eğimi, önemli vessel sayısı ve thal olarak ortaya konmuştur. Sınıf parametresi ise bireyde kalp hastalığının varlığını ifade etmektedir. Bunun yanında Cleveland verisetinde toplam 303 veriden 165'i hasta 138'si sağlıklı kişi verilerini ifade etmektedir.

### 2.1. Makine Öğrenmesi

Makine Öğrenmesi (ML) farkında olmadan günlük yaşamda kullanılan birçok uygulama içerisinde yer almaktadır. Makine öğrenmesi, sistemin problem ile ilgili geçmişteki vakaları barındıran veri ile öğreniminden elde edilen deneyimi kullanarak bir model oluşturmasına ve gelecekteki karşılaşacağı durumlar karşısında bir tahminde bulunmasını sağlayan metodolojiler topluluğudur. Sistemin modellenmesi gereken durum ile ilgili olan veriler üzerinden elde edeceği öğrenme ile ileride daha önce karşılaşmadığı olaylara kararlar üretip çözüm getirebilmesi olarak tanımlanmaktadır [22].

Birçok ML algoritması, araştırmacılar tarafından sağlanan verilerden öğrenme yeteneğine sahiptir ve ayrıca yeni veriler sağlandıkça sonraki eğitimlerle karar vermede modellerin doğruluğu ve verimliliği artar. ML'nin en önemli avantajı, çeşitli karar verme görevlerini otomatikleştirme yeteneği olmasına rağmen, ML'nin en uğraştırıcı ve en zor noktası, veri edinme ve veri toplama maliyetidir.

#### 2.1.1. Lojistik Regresyon

Lojistik regresyon (LR), Değişkenler arasında bulunan neden-sonuç ilişkisinin ortaya çıkmasını sağlayan yöntemdir. Bir veya birden çok tahmine ait değişkenin (x) değerini temel alan ve devamlı olarak çıktı değişkenini (y) olarak tahmin edilmesine olanak sağlayan bir çeşit makine öğrenme yöntemidir. Regresyon analizi yöntemi, değişkenler arası ilişkileri incelemeye sıklıkla kullanılan istatistiksel yöntemlerden bir tanesi olarak kullanılmaktadır [23]. Lojistik regresyon iki farklı şekilde uygulanabilmektedir. Bunlar standart yöntem ve aşamalı yöntem olarak adlandırılmaktadır. Standart yöntem uygulanırken ortak özellikler model içerisinde yer alır, aşamalı yöntemde ise ileri ve geri olarak uygulanmaktadır [24].

#### 2.1.2. Karar Ağaçları

Karar ağaçları (KA); ağaç görünümünde, tahmin amaçlı anlaşılması kolay bir yöntemdir [25, 26]. Yüksek doğruluk ve kolay yorumlanma yeteneğine sahiptir. Sınıflandırma veya regresyon problemlerinin çözümüne uyarlanabilmektedir. Hem kategorik hem de sayısal veriler içeren problemler çözülebilir. Çoğunlukla sınıflandırma problemlerinde kullanılan karar ağaçları, kategorik değişkenler ile çalışmaktadır. Ağaç görünümünde olmasıyla, veri setinin belirli kurallar çerçevesinde kümeler ve alt kümelerle ilişkili bir biçimde bölünmesi sağlanır. Düğümler ve dallardan oluşan bir mimari yapıya sahip yöntemdir.

#### 2.1.3. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA); öğrenme yeteneğine sahip, bilgileri değerlendiren ve yeniden oluşturabilen, keşfedebilen bir makine öğrenme yöntemidir [27]. YSA; öğrenme, sınıflandırma, genelleme, optimizasyon, ilişkilendirme ve özellik belirleme yeteneklerine sahiptir. YSA, mimari olarak insan beynindeki hücre yapısının benzetimi olarak, yapay hücrelerin (nöron) birleşmesi ile oluşmaktadır. Nöronlar birbiri ile bağlı ve eş zamanlı olarak çalışabilir. Nöronların birbirine bağlantılarında bağlı oldukları nöronunu önemini ortaya koyan bir ağırlık değeri bulunmaktadır. Bilgiler bu mimaride dağıtık yapıda, nöronlarda saklanmaktadır. YSA'da, eğitim setindeki örneklerin ağa sunulması ile eğitim süreci başlar ve ağırlıklar eğitilir. Ağın sürekli eğitilip, yinelenerek öğrenme parametrelerinin güncellenmesi süreci öğrenmedir. YSA'da insan beyninin öğrenme yapısı modellenmektedir.

#### 2.1.4. K-En Yakın Komşu

K-en yakın komşu (K-NN) algoritması; verilerin yakınlık ilişkilerine göre doğrusal ayrıştırma yöntemi ile sınıflandırma işlemi yapan makine öğrenmesi yöntemidir [28]. K-NN; nesnenin özelliklerine göre en yakın komşularının hangi sınıfta yoğun olduğu hesaplanır ve nesne sınıfına dair tahmin yapar. K-NN'de tahmin temel olarak uzaklık ve komşu sayısına göre yapılmaktadır. Uzaklıkta, tahmin edilecek nesnenin sınıf etiketi bilinen nesnelere uzaklığı hesaplanır. Uzaklık hesaplanırken Öklit Uzaklığı, Manhattan Uzaklığı ve Minkowski Uzaklığı gibi ölçütler kullanılmaktadır. Komşu sayısını, en yakın kaç komşu üzerinden sınıf tahmini yapılacağını belirleyen K değeri göstermektedir. Optimum K parametresinin belirlenmesi en doğru tahmini yapmak ve sistem performansı için son derece önemlidir.

#### 2.1.5. Naif Bayes

Naif Bayes (NB); olasılıklara dayanan bir denetimli makine öğrenmesi algoritmasıdır. Öngörülere dayanan bağımsız bir varsayımın oluşturduğu bir sınıflandırma yöntemidir. Bir sınıfa

ait olan belirli özelliklerin varlığı diğer herhangi bir özelliğin varlığından bağımsız olduğunu varsaymaktadır. Naif bayes teoremi, etkili olmasının yanında oldukça hassastır. Bu nedenle özellikleri değerlendirme de metriklerin çalışması oldukça önemli ve gereklidir [29, 30]. Naif bayes teoreminin özelliklerinden en önemli olanı hızlı ve kolay uygulanabilir olmasıdır. NB yöntemi, veri üzerinde modellemek için uygulandığında parametre tahmini için en üst düzey olan olasılık tahmini yöntemini kullanmaktadır. Bu veri herhangi bir olasılığı kabul etmeden veya herhangi bir başka bayes yöntemine başvurmadan NB yöntemiyle çalışabileceğin göstergesidir. NB algoritması için verilerin türlerinden daha çok veriler arasında kurulan ilişkiler daha çok önemlidir.

### 2.1.6. Destek Vektör Makineleri

Destek Vektör Makineleri (DVM), sağlam istatistikî bilgiler ışığında ortaya konmuş makine öğrenimi çeşididir [31, 32]. DVM temelde iki sınıfa ait verilerin birbirinden en uygun şekilde ayrılması için kullanılmaktadır. Belirlenen sınıflara ait veriler için, eğitim verilerini kullanarak ortaya çıkan karar fonksiyonu yardımı ile doğrusal olarak birbirinden ayrılması amaçlanmaktadır. Bu şekilde sınıfları birbirinden en uygun şekilde ikiye ayıran doğruya karar doğrusu denilmektedir. DVM yönteminde, sınırsız sayıda doğru çizilebilmesine rağmen en uygun doğruyu çizmek amaçlanmaktadır. DVM yaygın olarak çok boyutlu uzaylarda kullanılmaktadır. Uzaydaki boyut sayısının örneklem sayısından fazla olduğunda etkili olduğu bilinmektedir. DVM veri setinin doğrusal olma durumuna bağlı olarak ikiye ayrılmaktadır. İlki doğrusal destek vektör makineleri ikincisi ise doğrusal olmayan destek vektör makineleri olarak adlandırılır. Destek Vektör Makineleri (SVM), çoklu etiketli öğrenme problemini çözmek adına problem dönüştürme yöntemleriyle yaygın olarak kullanılmaktadır. DVM algoritmasını, çok etiketli problemi doğrudan ele almak için genişletilerek kullanılması gerekmektedir. Yöntem boolean tahminler, olasılıksal tahminler üretmemesinin yanında DVM veri setindeki verilerin doğrusal olup olmamasına bağlı olarak değişkenlik göstererek iki grupta incelenmektedir.

### 2.1.7. Önerilen Hibrit Model

Naif Bayes (NB); Çalışmada 2 fazlı makine öğrenme modeli önerilmiştir. Modelin ilk fazında özellik seçimleri arasında hedef sınıfı en çok etkileyen giriş parametreleri seçilmektedir. İkinci fazda ise seçilen en özellikli giriş parametreleri üzerinden sınıflandırma yapılmaktadır.

Öznitelik seçimi yapılmasındaki amaç, en iyi altkümenin ortaya çıkartılmasıdır. Dolayısı ile problemin modellenmesi için kullanılan veri setindeki giriş parametreleri (özellikleri) arasından en iyi "n" kadar özelliğin seçimini ifade etmektedir. Çalışmada özellik seçiminin ilk aşamada kullanılmasının temel amacı en önemli özellikleri saptayarak model giriş parametresini azaltmaktır. Bu sayede modelin işlem sürecinde hem doğruluk hem de zaman açısından kazanç hedeflenmiştir. Bunun yanında ilgisiz veya çok etkili olmayan parametrelerin, algoritmanın doğruluğunu azaltma ihtimali azaltılmış; verisetinin niteliği artırılmıştır. Çalışmada deneysel yöntemler ile farklı öznitelik seçim yöntemleri denenmiş; en iyi sonucu Relief özelliği seçim yöntemi ile elde edilmiştir. Sınıflandırma problemleri için tercih edilen Relief özellik seçim yöntemi, giriş parametrelerinin bağımlılıklarını verisetinde bulunan örneğin kendi sınıfı için diğer örneklerle yakınlığı ve farklı sınıflar ile olan uzaklığını

hesaplayarak bulmayı amaçlamaktadır [33]. Relief seçim yönteminin algoritmik adımları şu şekildedir:

1. Her sınıfa ait en yakın özellik değerlerinin belirlenmesi.
2. Özellik ağırlığının hesaplanması.
3. Hesaplanan tüm özellik ağırlıklarının sıralanması.
4. En iyi N kadar özelliğin seçilmesi.

Denklem 1'de özellik ağırlık hesaplanması formülü gösterilmektedir. Denklemde yer alan  $Relief_{Skor(i)}$  özelliğin önem derecesini,  $AS_i$  aynı sınıftaki en yakın örnekteki özellik değerini,  $FS_i$  farklı sınıftaki en yakın örnekteki özellik değerini ifade etmektedir.

$$Relief_{Skor(i)} = Relief_{Skor(i-1)} - (x_i - AS_i)^2 + (x_i - FS_i)^2 \quad (1)$$

Önerilen modelin ikinci fazında ise Relief özellik seçim yöntemi ile elde edilen en önemli özellikler sınıflandırma yöntemini beslemektedir. Sınıflandırma yöntemi olarak ise problem için uygulanan modeller arasında tek başına uygulandığında en iyi sonucu veren DVM yöntemi tercih edilmiştir.

Destek vektör makineleri, istatistiksel öğrenmeye dayalı bir sınıflandırma yöntemidir. DVM algoritması, veri seti üzerinde ikili veya çoklu sınıflandırmalar yapabilen, dağılımı bilinmeyen veriler üzerinde genelleme yapabilen ve bu veriler sayesinde yeni verileri tahmin edebilen bir algoritmadır. Algoritmik olarak iki sınıflı bir problem için en uygun sınıflandırma mantığını barındırmaktadır. Problemin niteliğine göre doğrusal destek vektör makineleri ve doğrusal olmayan destek vektör makineleri olmak üzere iki tip bulunmaktadır. Doğrusal yöntem için doğru ile sınıf ayrımı yapılabilirken; doğrusal olmayan bir veri kümesinde DVM'ler doğrusal bir hiper-düzlem çizemez. Bu nedenle çekirdek numarası kullanılmaktadır. Çekirdek yöntemi, doğrusal olmayan verilerde makine öğrenimini yüksek oranda arttırmaktadır. Bu yöntemin diğer makine öğrenmesi algoritmalarına karşı avantajları şu şekildedir:

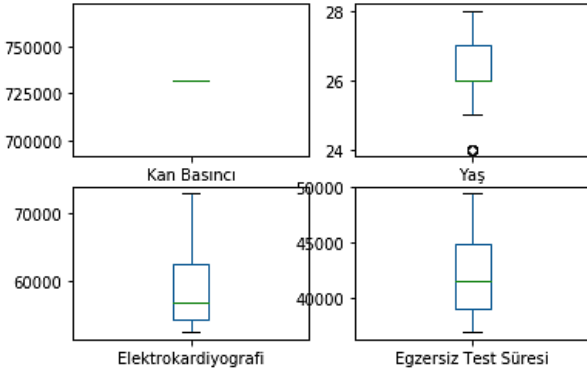
1. Problemden bulunan örnek sayısı eğer boyut sayısından az ise daha etkilidirler.
2. Karar süreçlerinde farklı çekirdek fonksiyonları kullanılmaktadır.
3. Veri boyutlarının daha büyük olduğu durumlarda daha başarılı ve verimli sonuçlar alınmaktadır.
4. Bağımsız değişken sayısı çok fazla olsa dahi çalışılabilmektedir.

Bu avantajların da etkisi ile tek başına kullanıldığında ilgili problem için en yüksek başarıyı elde etmiş; hibrit yöntem ile bu başarı daha da yukarı taşınmıştır.

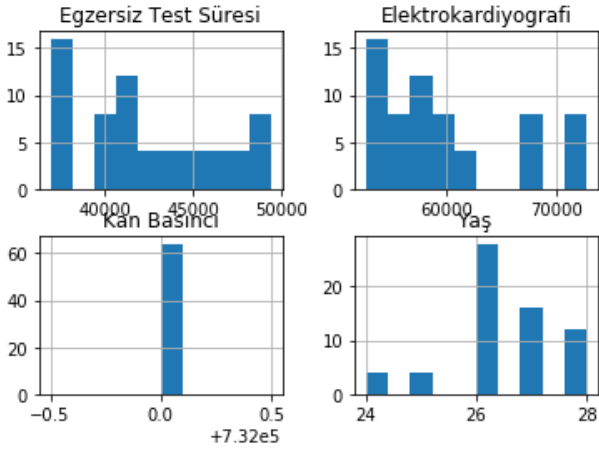
## 3. Uygulama-Deneysel Çalışmalar

Uygulama açık kaynaklı yazılım geliştirmek için tercih edilen, web tabanlı etkileşimli bir platform geliştirme platformu olan Jupyter Notebook platformu üzerinde Python programlama dili ile geliştirilmiştir. Jupyter Notebook veri bilimi, bilimsel hesaplama ve makine öğreniminde çeşitli iş akışlarını destekleyebilen bir platformdur. Python programlama dili makine öğrenmesi alanında popüler olarak tercih edilmektedir. Uygulama geliştirme sırasında Scipy, Numpy, Matplotlib, Pandas, Sklearn kütüphaneleri kullanılmıştır. Ayrıca, veriler tek değişkenli ve çok değişkenli grafikler ile görselleştirilmiştir. Şekil 1'de giriş parametreleri için kutu grafiği ortaya konmuştur.

Şekil 2’de yer alan şekilde ise yine her bir girdi değişkeninin dağılımını görmek için histogram grafikleri yer almaktadır.



Şekil 1. Giriş Parametrelerinin Kutu Grafiği



Şekil 2. Giriş Parametrelerinin Histogram Grafiği

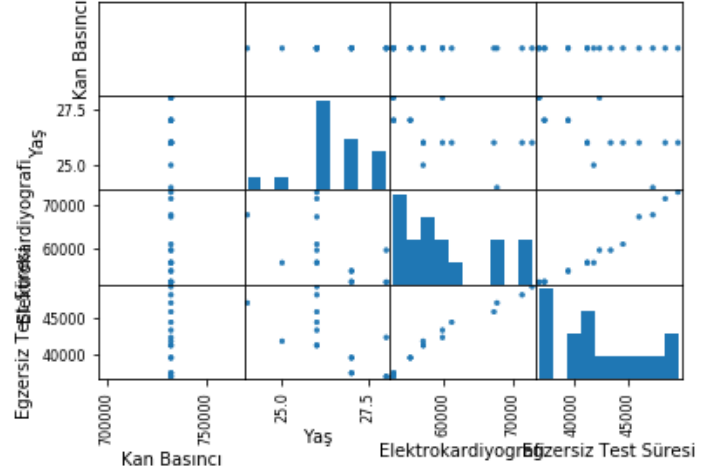
Şekil 3’te yer alan grafikte değişkenlerin birbirleri ile karşılaştırılması adına kullanılan değişkenlerin çok değişkenli grafikler ile gösterimi yer almaktadır. Bununla birlikte grafikler arasında bulunan etkileşim kontrol edilmiştir. Böylelikle giriş değişkenleri arasındaki yapılandırılmış ilişkiler tespit edilebilmektedir. Değişkenler arasındaki etkileşim ortaya çıkarılmıştır.

Çalışmada uygulanan modellerin doğruluk ölçütlerinin ortaya konması için 10 kat çapraz doğrulama uygulanmış; 6 farklı makine öğrenme yöntemi ve önerilen hibrit yöntem ile problem modellenmiştir. 10 kat çapraz doğrulama uygulanarak veri kümesi 10 parçaya bölünerek 9 parça üzerinde eğitim almış ve 1 parça üzerinde test edilmiştir. Bu durum tüm eğitim-test bölmeleri kombinasyonları için tekrar edilmektedir. K-kat çapraz doğrulama yöntemi için 5,10 ve 15 değerleri denenmiş hem doğruluk açısından hem de zamansal açıdan optimum değerlere K=10 iken ulaşılmıştır.

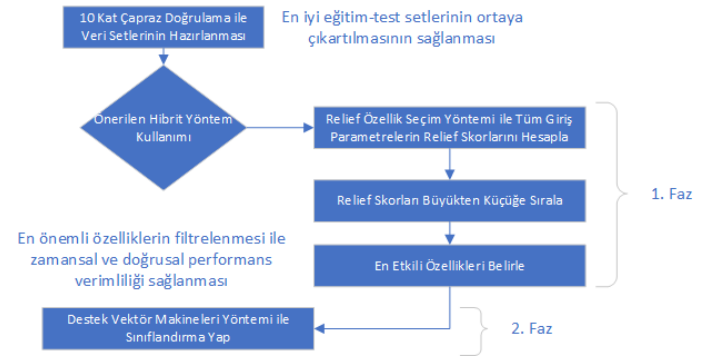
Öncelikle en sık kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları olan LR, KA, YSA, K-NN, NB, DVM yöntemleri giriş parametre sayısı 13 olarak problem için modellenmiştir. Uygulanan tüm yöntemler için önerilen hibrit modelin

uygulanabilirliğinin ortaya konması için doğruluk ölçütleri hesaplanarak performans değerleri elde edilmiştir.

Önerilen hibrit modelde ilk aşama olan Relief özellik seçim yöntemi ile en etkili özelliklerin belirlenmesi fazından sonra 13 parametre arasından en etkin 4 özellik Denklem 1’de belirtilen Relief skorlarına göre Kan Basıncı, Yaş, Elektrokardiyografi ve Egzersiz Test Süresi olarak belirlenmiştir. Önerilen hibrit modelin akış şeması Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Değişkenlerin Çok Değişkenli Grafikler ile Gösterimi



Şekil 4. Önerilen Hibrit Modelin Akış Şeması

## 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada kalp hastalığı tespiti için hibrit bir model önerilmiştir. Bunun yanında en sık kullanılan 6 makine öğrenmesi algoritması da önerilen modelin performans değerleri ile karşılaştırılması için aynı probleme uygulanmıştır. Sırası ile LR yöntemi 280 doğru tanı, 23 yanlış tanı ile %92, KA yöntemi 285 doğru tanı, 18 yanlış tanı ile %94, YSA yöntemi 288 doğru tanı, 15 yanlış tanı ile %95, K-NN yöntemi 271 doğru tanı, 32 yanlış tanı ile %89, NB yöntemi 274 doğru tanı, 29 yanlış tanı ile %90, DVM yöntemi 292 doğru tanı, 11 yanlış tanı ile %96 ve son olarak önerilen hibrit model ise 298 doğru tanı, 5 yanlış tanı ile %98 doğruluk oranına ulaşmıştır. Uygulanan yöntemlerin karşılaştırılmasının daha sağlıklı şekilde ortaya konması için yöntemlerin doğruluk değerleri dışında duyarlılık, özgüllük, kesinlik ve F1 performans ölçüt değerleri hesaplanmış; modellerin süre bazından da karşılaştırması yapılarak Tablo 1’de gösterilmiştir. Tablo 1’de elde edilen tüm performans ölçütleri

açısından önerilen hibrit modelin uygulanabilirliği ortaya konmuştur. Önerilen model, iki fazlı yapısı ile ilk aşamada en önemli özellikleri ortaya çıkartarak daha az parametre ile ikinci aşama olan sınıflandırma fazını beslemesi nedeni ile zamansal

olarak diğer mimarilere oranla en verimli çalışan model olmuştur. Bunun yanında önerilen hibrit model hedef sınıf daha az önemli olan özellikleri filtreleyerek doğruluk ve diğer ölçütlerde de en yüksek değerleri elde etmiştir.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Bakteriler ve İnkübasyon Koşulları

Yöntem	Doğruluk	Süre (s)	Duyarlılık	Özgüllük	Kesinlik	F <sub>1</sub>
LR	0,92	372	0.94	0.05	0.95	0.95
KA	0,94	391	0.96	0.04	0.96	0.96
YSA	0,95	498	0.95	0.04	0.98	0.96
K-NN	0,89	342	0.91	0.08	0.94	0.93
NB	0,90	386	0.92	0.08	0.95	0.93
DVM	0,96	333	0.97	0.02	0.98	0.97
Önerilen Model	0,98	270	0,98	0,01	0,99	0,99

## 5. Sonuç

Makine öğrenimi yöntemleri ile hastalık tespiti literatürde oldukça fazla rastlanmaktadır. Bunun nedeni yöntemlerin öngörü yeteneği sayesinde insan ömrü konusunda riski azaltarak ön teşhis veya önlem alabilme şansı yakalanabilmesidir. Çalışmada, kalp hastalıkları konusunun tercih edilmesinin nedeni tüm dünya üzerinde kalp hastalıklarının ölüm oranları arasında üst sıralarda yer alarak insan hayatı için önemli bir risk unsuru olmasıdır.

Kalp hastalığı tespiti için en sık kullanılan 6 makine öğrenmesi ile hibrit bir model önerilmiştir. Tüm uygulanan modeller birbirleri ile hem zamansal hem de doğruluk performansları ile karşılaştırılarak en uygun modelin seçimi sağlanmış; ayrıca önerilen modelin uygulanabilirliği ortaya konmuştur.

Yapay sinir ağları kullanılarak geliştirilen algoritmaların çalışma süresinin uzun olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra karar ağacı ve lojistik regresyon kullanılarak geliştirilen algoritmaların yapay sinir ağlarına göre daha kısa süreli çözüm ürettiği görülmektedir. Bu durum yapay sinir ağlarının daha maliyetli olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Yapay sinir ağlarının yorumlanması konusunda çeşitli zorluklar bulunmaktadır. Karar ağaçları algoritmaları ise daha kolay değerlendirilebilmektedir. Bununla birlikte doğruluk performansları açısından tüm uygulanan modeller arasında 3. Sıradadır. Yapay sinir ağları çeşitli nedenlerden dolayı her ne kadar zor bir algoritma olsa da öğrenme gücü ile net sonuçlar verdiği için kullanımı artmaktadır. Burada karar verilmesi gereken nokta zamansal farklılığın problemin hassasiyeti ve doğruluk farklılıkları arasındaki getirisinin dengesidir.

Bu çalışmada kalp hastalıklarının teşhisinin makine öğrenimi yöntemleri ile tespit edilebilmesi için hibrit bir yöntem önerilmiş ve en uygun algoritma olarak ortaya konulmuştur. Kullanılan veriseti üzerinde algoritmaların karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmanın sonuç değerlerine Tablo 1’de yer verilmiştir. Çalışılan modeller arasında model başarıları ölçümlendiğinde en optimum model olarak önerilen hibrit model %98 doğruluk oranı ile en yüksek tahmin doğruluk puanına sahip olduğu ortaya konmuştur.

Çalışma sonucunda, ortaya konan önerilen modelin test veri kümesi üzerinde yapılan hastalık tahmin işlemi ile %99 kesinlik, %98 duyarlılık, 0.01 özgüllük ve 0.99 F1 değerleri ile tahmin

yeteneğine sahip olduğu görülmüştür. Bunun yanında zamansal performans karşılaştırmasında da en etkili özelliklerin çıkarımı sayesinde en hızlı yöntem önerilen hibrit model olmuştur. Elde edilen bu değerler ile doğrulama testi sonucunda önerilen modelin tüm performans değerleri açısından en iyi sonucu verdiği ortaya konmuştur.

Bu çalışmada önerilen iki aşamalı hibrit modelin ilk fazında Relief özellik seçim yöntemi ile problem için en önemli özelliklerin seçimi yapılmış; ikinci aşamasında ise yöntemlerin standart uygulanması esnasında en iyi sonucu alan sınıflandırma yöntemi seçilerek filtrelenmiş giriş parametreleri üzerinden sınıflandırma yapılmıştır. Relief tabanlı özellik seçim yöntemi ve DVM makine öğrenmesi yöntemi birlikte kullanılarak hibrit bir model çalışmada önerilmiş; en sık kullanılan makine öğrenmesi yöntemleri ile performans karşılaştırılması yapılarak uygulanabilirliği ortaya konarak literatüre katkı sağlanmıştır. Çalışma sonucunda uygulanmış olan makine öğrenimi yöntemleri ile kalp hastalıklarının erken teşhis edilerek ortaya çıkarılması ile literatüre diğer bir katkı olmuştur.

## 5. Teşekkür

Çalışmanın okunabilirliği ve gelişmesi konusunda katkı sağlayan dergi editörleri ve hakemlere teşekkür ederiz. Ayrıca makale yazarlarından Atınç Yılmaz danışmanlığında, diğer makale yazarı Eda Sümer’in Beykent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği programında “Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Kalp Hastalıkları Teşhisi” başlıklı Yüksek Lisans Bitirme Proje çalışması genişletilip ilettilerek yeni bir hibrit model önermesi katkısı ile bu makale çalışması ortaya konmuştur.

## Kaynakça

- T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü (2015). Türkiye Kalp ve Damar Hastalıklarının Önleme ve Kontrol Programı 2015-2020.
- Palaniappan, S., Awang, R. (2008). Intelligent Heart Disease Prediction System Using Data Mining Techniques. IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications, 108-115.



- Srinivas, K., Rani B., Govrdhan, KA. (2010). Applications of Data Mining Techniques in Healthcare and Prediction of Heart Attack. *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSSE)*, 2, 250-255.
- Lichman, M. (2015). UCI Machine Learning Repository, Irvine, CA, University of California, School of Information and Computer Science. [<http://archive.ics.uci.edu/ml>], 108-115.
- Chandna, D. (2014). Diagnosis Of Heart Disease Using Data Mining Algorithm. *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol (IJCSIT)*, 5, 1678-1680.
- Jin, Z., Sun, Y., Cheng, AC. (2009). Predicting Cardiovascular Disease From Real-Time Electrocardiographic Monitoring, An Adaptive Machine Learning Approach on a Cell Phone. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 2009*, 6889-6892.
- Bulut, F. (2010). Madde Bağımlısı Olma Riski Altında Olan Öğrencilerin Veri Madenciliği Sınıflandırma Algoritmalarıyla Tespit Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Anbarasi, IN. (2010). Enhanced Prediction of Heart Disease with Feature Subset Selection Using Genetic Algorithm. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2, 5370-5376.
- Boyraz, ÖF., Seymen, V., Bozkurt, MR., Çetin Ö. (2014). Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanılarak Kalp Hastalığı Tespiti. *International Conference On Education In Mathematics, Science & Technology (Icemst 2014)*, Konya, Türkiye.
- Kartal, E. (2015). Sınıflandırmaya Dayalı Makine Öğrenmesi Teknikleri ve Kardiyolojik Risk Değerlendirmesine İlişkin Bir Uygulama. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mohan, S., Thirumalai, C., Srivastava, G. (2019). Effective Heart Disease Prediction Using Hybrid Machine Learning Techniques. *IEEE Access*, 7, 81542–81554.
- Latha, C.B.C., Jeeva, S.C. (2019). Improving The Accuracy of Prediction of Heart Disease Risk Based on Ensemble Classification Techniques. *Informatics in Medicine Unlocked*, 16, 100203.
- Gazeloğlu, C. (2020). Prediction of Heart Disease by Classifying with Feature Selection and Machine Learning Methods. *Progress in Nutrition*, 22, 660–670.
- Pavithra, V., Jayalakshmi, V. (2020). Hybrid Feature Selection Technique for Prediction of Cardiovascular Diseases. *Materials Today: Proceedings*, 22, 660–670.
- Küçükakçalı, Z., Çiçek, I., Güldoğan, E., Çolak, C. (2020). Assessment of associative classification approach for predicting mortality by heart failure. *The Journal of Cognitive Systems*, 5(2), 41-45.
- Chicco, D. and Jurman, G. (2020). Machine learning can predict survival of patients with heart failure from serum creatinine and ejection fraction alone. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 20(1), 1-16.
- Gürfidan, R. and Ersoy, M. (2021). Classification of death related to heart failure by machine learning algorithms. *Advances in Artificial Intelligence Research*, 1(1), 13-18
- Coşar, M., Deniz, E. (2021). Makine Öğrenimi Algoritmaları Kullanarak Kalp Hastalıklarının Tespit Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28, 1112-1116.
- Potur, E.A., Erginel, N. (2021) Kalp Yetmezliği Hastalarının Sağ Kalımlarının Sınıflandırma Algoritmaları ile Tahmin Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 24, 112-118.
- Reddy, K.V.V., Elamvazuthi, I., Aziz, A.A., Paramasivam, S., Chua, H.N., Pranavanand, S. (2021). Heart Disease Risk Prediction Using Machine Learning Classifiers with Attribute Evaluators. *Applied Sciences*, 11(18), 8352. <https://doi.org/10.3390/app11188352>
- V.A. Medical Center, Long Beach and Cleveland Clinic Foundation: Robert Detrano, M.D., Ph.D. [<http://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/heart-disease>], Erişim Tarihi: 03.09.2021
- Vellido, A. (2020). The Importance of Interpretability and Visualization in Machine Learning For Applications in Medicine and Health Care. *Neural Computing & Applications*, 32(24), 18069-18083, December 2020.
- Şenel, S., Alatlı, B. (2014). Lojistik Regresyon Analizinin Kullanıldığı Makaleler Üzerine Bir İnceleme. *Journal of Measurement and Evaluation in Education and Psychology*, 5 (1), 35-52. DOI: 10.21031/epod.67169
- Field, A. (2005). *Discovering statistics using SPSS (2nd ed.)*. London: Sage
- Gök, M. (2017). Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Akademik Başarının Tahmin Edilmesi. *Gazi üniversitesi Fen Bilimleri dergisi, C: Tasarım ve Teknoloji* 5(3), 139 – 148
- Irmak, S., Ercan, U. (2017). Karar Ağaçları Kullanılarak Türkiye Hane halkı Zeytinyağı Tüketimi Görünümünün Belirlenmesi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 13(3), 553-564
- Yılmaz, A. (2017). *Yapay Zekâ*, İstanbul, Kodlab.
- Demir, H, Erdoğan, P, Kekeçoğlu, M. (2018). Destek Vektör Makineleri, YSA, K-Means ve KNN Kullanarak Arı Türlerinin Sınıflandırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 (1), 47-67. DOI: 10.29130/dubited.328596
- Malhotra, R. (2015). *A Systematic Review of Machine Learning Techniques for Software Fault Prediction*. Elsevier Science Direct
- Wang, MJ, Chen, HL. (2020). Chaotic Multi-Swarm Whale Optimizer Boosted Support Vector Machine For Medical Diagnosis. *Applied Soft Computing*, 88.
- Güner, N, Çomak E. (2010). Mühendislik Öğrencilerinin Matematik I Derslerindeki Başarısının Destek Vektör Makineleri Kullanılarak Tahmin Edilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 87-96.
- Budak, H. (2018). Özellik Seçim Yöntemleri ve Yeni Bir Yaklaşım. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 21-31.



# Comparison of Short-Term Electricity Load Forecasting Using Different Deep Learning Methods

Ipek Atik<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>\*Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Electrical and Electronics Engineering, Gaziantep Islam Science and Technology University, Gaziantep, Turkey (ORCID: 0000-0002-9761-1347), [ipek.atik@gibu.edu.tr](mailto:ipek.atik@gibu.edu.tr)

(First received 1 November 2021 and in final form 25 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1017137)

**REFERENCE:** Atik I. (2021). Comparison of Short-Term Electricity Load Forecasting Using Different Deep Learning Methods. *European Journal of Science and Technology*, (31), 616-623.

## Abstract

Estimation of the amount of electricity generation plays an important role in the planning of transmission and distribution systems, generation economy, unit work schedules and maintenance repair timing. With accurate forecasting models, uninterrupted and reliable electrical energy production can be achieved. In our study, 1-hour, 2-hour and 3-hour ahead predictions were made with different deep learning algorithms using Turkey's hourly electricity generation data. With the MAE, RMSE and correlation coefficient values of the models, their performances were compared. Among the compared methods, the best estimation result was obtained with the LSTM model. R values for 1-h, 2-h and 3-h ahead were obtained as 0.996, 0.973 and 0.959, respectively. The study aimed to determine the model that makes the closest estimation to the real values. In this context, it is anticipated that the study will be useful for future prediction studies

**Keywords:** Deep learning, Short-term prediction, LSTM, SVR, ANN

## Farklı Derin Öğrenme Metotları ile Kısa Dönem Elektrik Yükü Tahmin Karşılaştırması

### Öz

Elektrik üretim miktarının tahmin edilmesi iletim ve dağıtım sistemlerinin planlaması, üretim ekonomisi, ünite çalışma programları ve bakım onarım zamanlaması için önemli role sahiptir. Doğru tahmin modellemeleri ile kesintisiz ve güvenilir elektrik enerjisi üretimi sağlanabilir. Çalışmamızda Türkiye için saatlik elektrik üretim verileri kullanılarak farklı derin öğrenme algoritmaları ile 1 saat, 2 saat ve 3 saat ilerisi için tahmin çalışmaları yapılmıştır. Modellere ait MAE, RMSE ve korelasyon katsayısı değerleri ile performansları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan yöntemler arasında en iyi tahmin sonucu LSTM modeli ile sağlanmıştır. 1-h, 2-h ve 3-h ilerisi için R değerleri sırasıyla 0.996, 0.973 ve 0.959 olarak elde edilmiştir. Çalışmada gerçek değerlere en yakın tahmin yapan modelin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın bu bağlamda gelecek tahmin çalışmaları için faydalı olacağı öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Derin öğrenme, Kısa dönem tahmin, LSTM, SVR, ANN

\*Corresponding Author: [ipek.atik@gibtu.edu.tr](mailto:ipek.atik@gibtu.edu.tr)

## 1. Introduction

Electricity consumption is constantly rising with advancing technology. Providing continuous and reliable electricity generation is one of the factors that determine the level of development of countries. Forecasting studies are important in terms of planning of electricity transmission and distribution networks, economic criteria, and supply-demand balance. (Sarhani & El Afia, 2015) Electric load forecasting generally fall into three categories. These are short-term forecasts, midterm forecasts and long-term forecasts. Short-term forecasts include a period from a few hours to a few weeks; medium-term forecasts include a period between one week and one year, and long-term forecasts include a period of more than one year (Hochreiter & Schmidhuber, 1997). Short-term forecasts have an important role in the operation of electricity generation, energy market, unit work schedules, production economy, effective free-market offers and unit maintenance (Khan et al., 2018).

Many techniques related to short-term load forecasting (STLF) have been developed in the literature. The techniques generally include artificial intelligence-based and traditional approaches. Statistical methods are used more often in traditional approaches. Kaynar et al. (O. Kaynar, H. Ozekicioglu, & Demirkoparan, 2017) provided an error margin less than five percent with the hybrid algorithm in which the support vector regression algorithm and chaotic methods were used together for forecasting. Turkyay and Demre (B. E. Türkay & D. Demren, 2011) made a demand forecasting using the 2006-2009 load data with the library for support vector machine (LibSVM) algorithm. Ellatar et al. (Elattar, Goulernas, & Wu, 2010) conducted a forecasting study using LWSVR, a hybrid model of support vector, and stated that it could be an alternative to other methods. Nazarko and Zalewski (Nazarko & Zalewski, 1999) conducted an estimation study in which they compared the fuzzy regression and standard regression methods. Mostafa and Nagasaka (Al Mamun & Nagasaka, 2006) conducted an estimation study comparing SVM and ANN methods. Sarhani and Al Afia (Sarhani & El Afia, 2015) used SVA and PSA in a hybrid model to make predictions. Matijas (Matijaš, 2013) compared the least squares support vector machine (LS-SVM) and Robust LS-SVM methods with other methods and observed that they gave better results. Bozic and Stojanovic (Božić & Stojanović, 2011) made an estimation using the SVM method and calculated MAPE as 4.25%. Ghanbari et al. (Ghanbari, Naghavi, Ghaderi, & Sabaghian, 2009) compared the results of linear regression, logarithmic linear regression and ANN in their study using artificial neural network algorithm. Khan et al. (Khan et al., 2018) conducted an estimation study using ANN and bagged regression tree (BRT), and obtained better results

with the BRT algorithm. Kong et al. (Kong et al., 2017) applied long short-term memory (LSTM) based recurrent RNN in short term forecasting. They compared and tested the results with ELM, k-NN, and backpropagation algorithm models and proved that the LSTM model exhibited the best performance. Zheng et al. (Zheng, Ristovski, Farahat, & Gupta, 2017) used the long short-term memory (LSTM) RNN method on the smart meter data taken from a region connected to the smart grid and compared the obtained results with the seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA), Nonlinear Autoregressive Neural Network (NARX), Support Vector Regression (SVR) methods.

In our study, artificial neural networks (ANN), long short term memory (LSTM), linear regression (LR), support vector machines regression (SVR), bagged tree (BT) and fine tree (FT) deep learning methods will be used for short-term electrical load prediction. The first part of the study emphasizes the importance of load prediction and previous studies on short-term forecasting are summarized. The second part includes information about deep learning methods, data set and performance criteria used in the study. The third part includes forecasting results from the data set transferred to the model, and the comparison of the model performances. The last part includes results obtained from the study.

## 2. Material and Methods

In the study, deep learning methods such as linear regression, SVR, Bagged Tree, Fine Tree, ANN and LSTM will be used. Method descriptions, data set and model performance criteria are given in this section.

### 2.1 Data Collection

Data were obtained from the open database for Turkey's hourly electricity generation load between 01.05.2013-12.09.2020 as megawatt-hour (Kaggle, 2021). Hourly total electricity generation data of Turkey was used in the data set. A total of 64602 data is available in the specified date range. 64602 rows of data were found in the data set. 60000 rows of the used data set were reserved for training and validation, while the remaining 4602 rows were reserved for testing. Values in the data set were normalized between 0 and 1. The mathematical equation of the normalization is shown in Eq.1 (Zhang, Patuwo, & Hu, 1998). The hourly change graph of Turkey's electricity load for the date range given for the input data is as seen in Figure 1.

$$x_{new} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

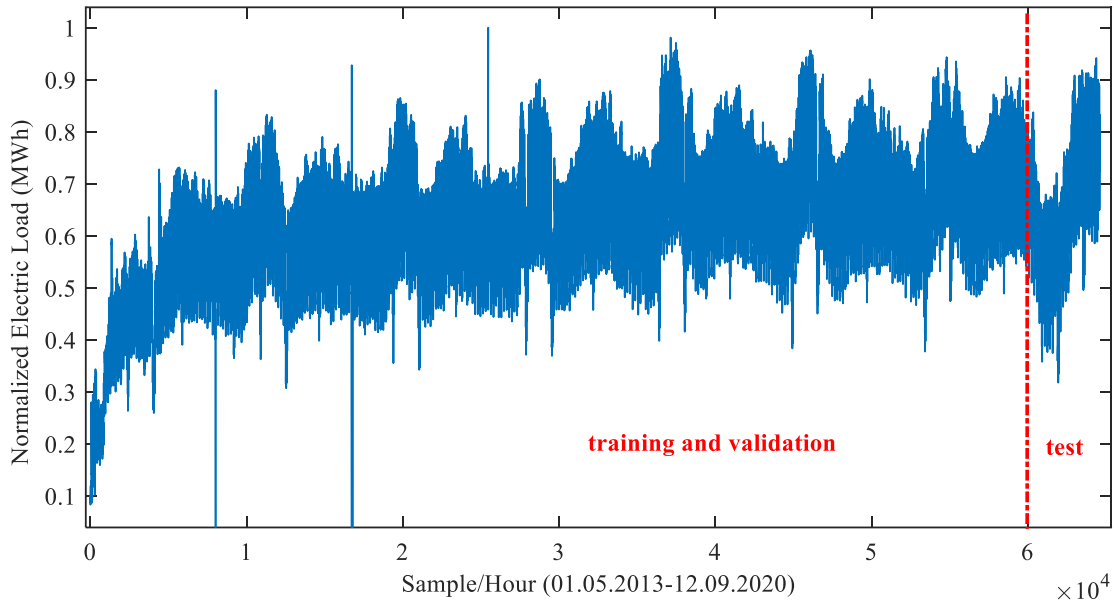


Figure 1. Hourly change of Turkey's normalized electricity load between 01.05.2013-12.09.2020

## 2.2 Deep learning algorithms

### 2.2.1 Regression Analysis

Regression analysis is a parametric method to determine the relationship between two or more variables. It is one of the methods used to determine the relationship between two or more variables that have a cause-effect relationship between them and to make future predictions about that subject based on this relationship. Regression model uses estimation, classification and analytical data tools to determine the importance of many explanatory variables. There are two types of regression models: simple regression with one independent variable and multiple regression analysis with more than one independent variables (Karaca & Karacan, 2016). In the study; linear regression, bagged tree, fine tree and SVR algorithms in Matlab R2020a program were applied to our dataset.

Linear regression algorithm is a way of modeling the relationship of a dependent variable to one or more independent variables, which is the basis of regression analysis. The main purpose here is to estimate the value of dependent variable based on the known or fixed values of independent variables (Karaca & Karacan, 2016).

Regression trees: Decision trees are in the form of a tree structure that can be built on both regression and classification models. Regression is used for numerical target data, while classification is used for categorical data (eg yes/no). Decision trees consist of decision nodes and leaf nodes according to feature and target.

Support vector machines regression: The SVR algorithm draws the parallel furthest line to separate the data formed in two groups (Omidi, Barakati, & Tavakoli, 2015).

### 2.2.2 Artificial Neural Networks

Artificial neural networks (ANN) consist of combining artificial nerve cells, which were inspired by the working structure of biological nerve cells. ANNs can learn and generalize, model nonlinear structures, be adapted for different problems, and have fault tolerance (Tosun, Ozturk, & Taspinar, F., 2019). Neural networks do not need prior knowledge between inputs and output variables. By giving input and output variables to the network, it is made to learn the relationship between them. This process is called supervised learning and the backpropagation algorithm, which is one of supervised learning methods, was used in the study. In artificial neural networks, the backpropagation learning algorithm consists of two stages. In forward phase, the input entering the network are processed with weight matrices and the output is calculated. Then, the network weights are rearranged with the backward propagation of the network, aiming to minimize error between the output value created by the network and the actual value. This process continues until the network produces the desired output (Sun, Qingdang, & Wang, 2020). Artificial neural networks are used in forecasting models based on time series and cause-effect relationships. In ANN models, the input is independent variable whereas the output is dependent variable. Nonlinear functional relationship for ANN is as shown in Eq. 2. (Zhang et al., 1998);

$$Y = f(x_1, x_1, \dots \dots x_n) \quad (2)$$

Here,  $x_1, x_1, \dots \dots x_n$  n stands for independent variable and Y stands for dependent variable. For time series-based forecasts, ANN input variables represent the historical values of the data set, whereas the output represents the forecast value. The nonlinear relationship determined by the ANN is represented as in Eq.3 (Sun et al., 2020).

$$Y_{t+1} = f(y_t, y_{t-1}, \dots \dots y_{t-n}) \quad (3)$$



### 2.2.3 LSTM

Long Short Term Memory (LSTM) has three gates that control the flow of information, called input, forget, and output gates. Basically, these gates are simply generated by logistic functions of weighted sums; which can be calculated by backpropagation during training (Altan, 2019). Cell is managed through the input gate and forget gate. The output is repeatedly connected to the block input and to all gates.

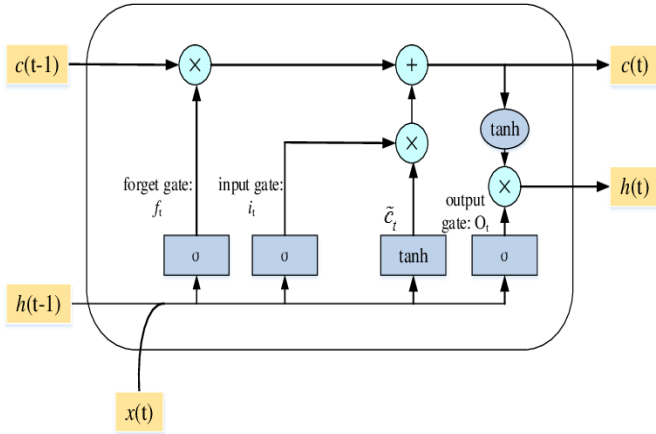


Figure 2. The diagram of LSTM memory block (Yuan, Li, & Wang, 2019)

The basic LSTM architecture is as shown in Figure 2. There are three gates in the LSTM unit; these are input, forget and output gates. For the basic LSTM structure, its external inputs are its previous cell state  $c(t-1)$ , the previous hidden state  $h(t-1)$  and the current input vector  $x(t)$ . The three gates equations are given as;

$$i_t = \sigma(x_t W_{xi} + h_{t-1} W_{hi} + b_i) \quad (4)$$

$$f_t = \sigma(x_t W_{xf} + h_{t-1} W_{hf} + b_f) \quad (5)$$

$$o_t = \sigma(x_t W_{x0} + h_{t-1} W_{h0} + b_o) \quad (6)$$

where  $\sigma$  denotes the nonlinear activation function. In the LSTM, intermediate state  $C(t)$  is formed as;

$$C_{(t)} = \tanh(x_t W_{xc} + h_{t-1} W_{hc} + b_c) \quad (7)$$

Then the memory cell and the hidden state are expressed as follows;

$$C_{(t)} = f_t \odot C_t + i_t \odot C_t \quad (8)$$

$$h_{(t)} = o_t \odot \tanh(C_t) \quad (9)$$

Where  $\odot$  and  $\tanh$  represents the multiplication operation and nonlinear activation function respectively. (Kong et al., 2017; Yuan et al., 2019).

### 2.3 Statistical Error Measures

Three evaluation measures were chosen to evaluate model performance; root mean square error (RMSE), correlation coefficient (R) and mean absolute error (MAE). While RMSE demonstrates the error between anticipated values and observed values, R expresses the relationship between inputs and outputs. MAE determines the average size of the errors in forecasts. Detailed equations of these expressions can be described as shown in Eq.10-12 (Kong et al., 2017);

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2} \quad (10)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y}_i)(Y_i - \bar{X}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y}_i)^2 \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{X}_i)^2}} \quad (11)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Y_i - X_i| \quad (12)$$

Where N refers the total number of testing samples, and  $Y_i$  denotes the forecast versus and  $X_i$  denotes actual values. Among these performance measures, R is the accuracy coefficient of the model. Higher values indicate a good forecasting relationship. Since RMSE and MAE are error measures, low values indicate high performance inversely proportional to performance (B. E. Türkay & D. Demren, 2011; Wang, Zhu, Zhang, & Lu, 2010). For example, RMSE equal to zero means high accuracy.

### 3. Results and Analysis

In the study, out of 64602 sample datasets for Turkey's hourly electricity generation, 60000 were used for training and 4602 were used for testing. The Intel(R) Core(TM) i7-10750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz processor was used in the analysis. 1h, 2h and 3h ahead predictions were obtained by using the forecasting algorithms LSTM, linear regression (LR), SVR, Bagged Tree (BT), Fine Tree (FT) and ANN. Aforementioned methods, 1-h, 2-h and 3-h ahead results are as seen in Fig. 3, Fig.4 and Fig.5 respectively. The specifications of the algorithms and performance criteria metrics were obtained as summarized in Table.1-4.

Table 1. The specifications of the algorithms

Algorithm	Model Setup			
	Preset	Parameters		
Support Vector Regression	SVR	Fine Gaussian	Kernel Function	Gaussian
Bagged Tree	BT	Bagged Trees	Kernel Scale	0.64
			Min. Leaf Size	10
Decision Tree Regression	DTR	Fine Tree	Number of Learner	28
			Min. Leaf Size	8
Linear Regression	LR	Linear	Decision Split	Off
			Term	Interaction
Long Short Term Memory	LSTM	Linear	Robust Option	Off
			Maximum Epochs	100
			ValidationFrequency	25
			GradientThreshold	1
			Initial Learning Rate	0.001
			Learn Rate Drop Period	100
			Learning Rate Drop Factor	0.5

Figure 3. Prediction results for 1-h ahead of models

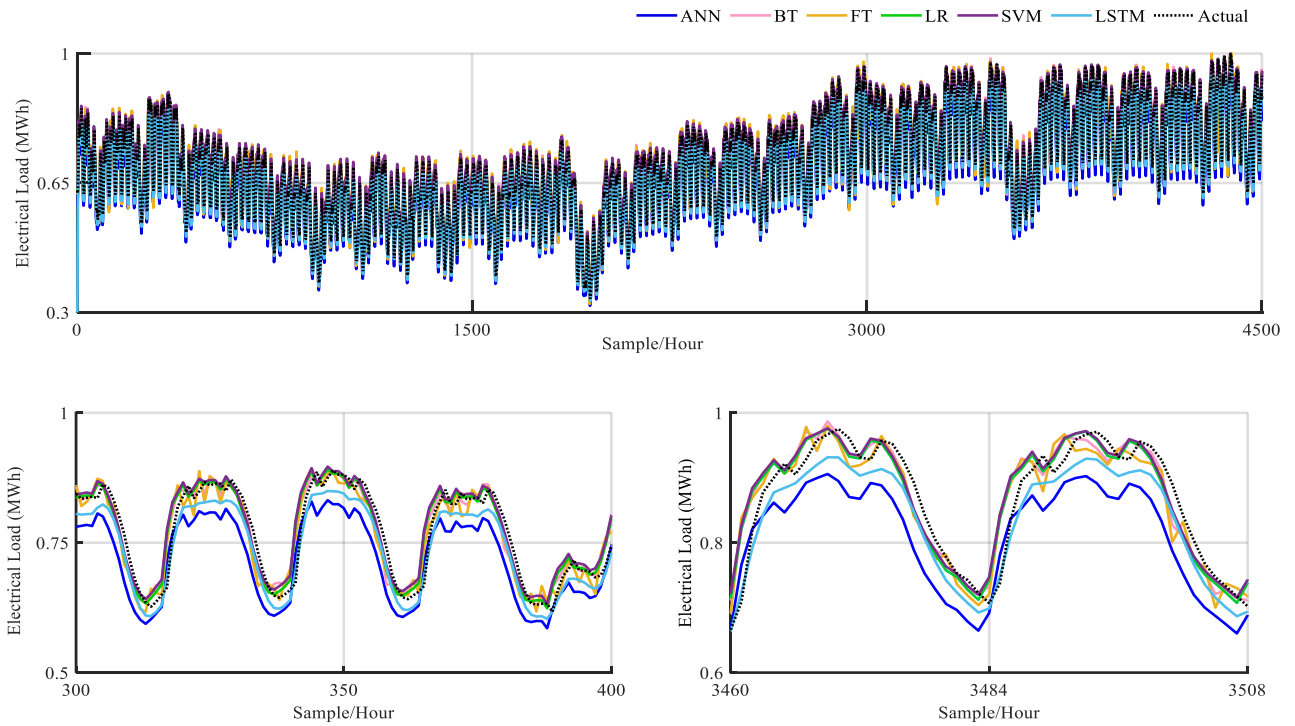


Table 2. Performance metrics of 1-h ahead prediction results

Metrics	LSTM	SVR	LR	ANN	BT	FT
R	0.996	0.984	0.982	0.980	0.977	0.971
RMSE	0.019	0.029	0.030	0.032	0.039	0.042
MAE	0.016	0.022	0.024	0.028	0.032	0.035

Comparison of the 1-hour ahead model forecasting performances shows that the highest R value was obtained in the LSTM model with 0.996, while the lowest R value belonged to FT with 0.971. As can be seen in Figure 3, while the actual values are close to the predicted values in LSTM, the error is higher in FT. Evaluation of model performances showed that the RMSE values of LSTM, SVR, LR, ANN, BT and FT models were obtained as 0.019, 0.029, 0.030, 0.032, 0.039 and 0.042, respectively. Comparison of MAE values revealed the lowest MAE value in LSTM with 0.016, while the model with the highest MAE value was FT with 0.035.

Figure 4. Prediction results for 2-h ahead of models

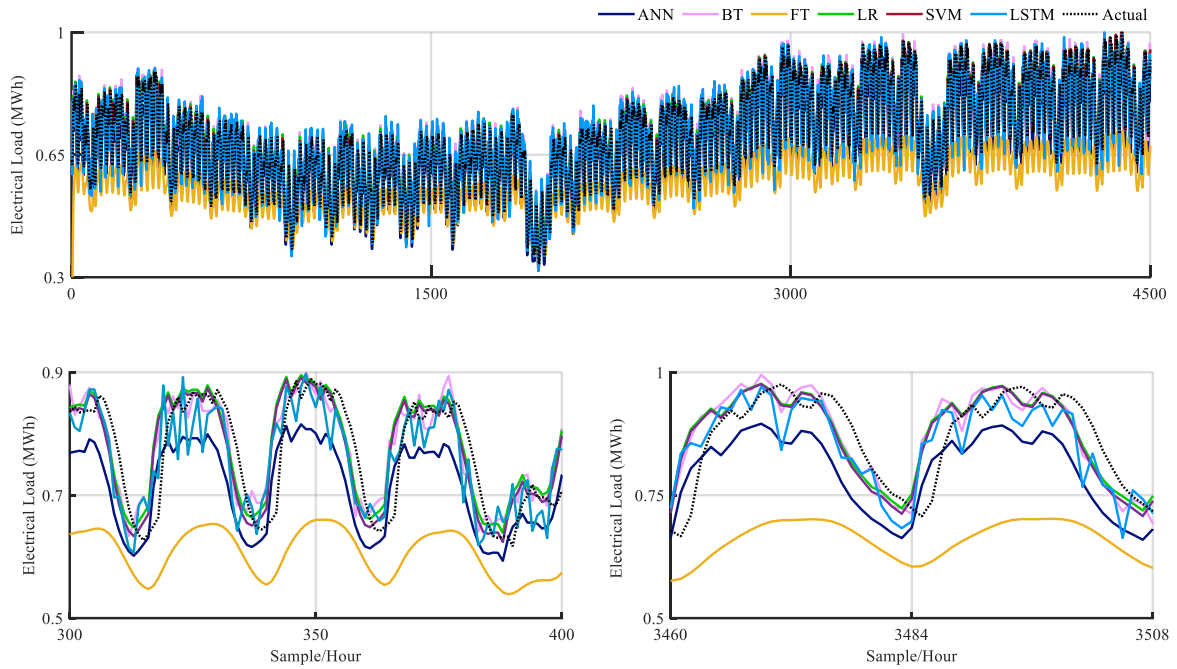


Table 3. Performance metrics of 2-h ahead prediction results

Metrics	LSTM	SVR	LR	ANN	BT	FT
R	0.973	0.945	0.938	0.934	0.924	0.916
RMSE	0.045	0.052	0.057	0.060	0.063	0.067
MAE	0.039	0.043	0.049	0.055	0.061	0.065

Prediction was performed for 2-hour ahead with the same methods, and the performance criteria were summarized in Table 2. Comparison of the 2-hour ahead model prediction performances shows that the highest R value was obtained in the LSTM model with 0.973, while the lowest R value belonged to FT with 0.916. Considering RMSE, the RMSE values of the LSTM, SVR, LR, ANN, BT and FT models for 2-hour ahead prediction were obtained as 0.045, 0.052, 0.057, 0.060, 0.063 and 0.067, respectively.

Figure 5. Prediction results for 3-h ahead of models

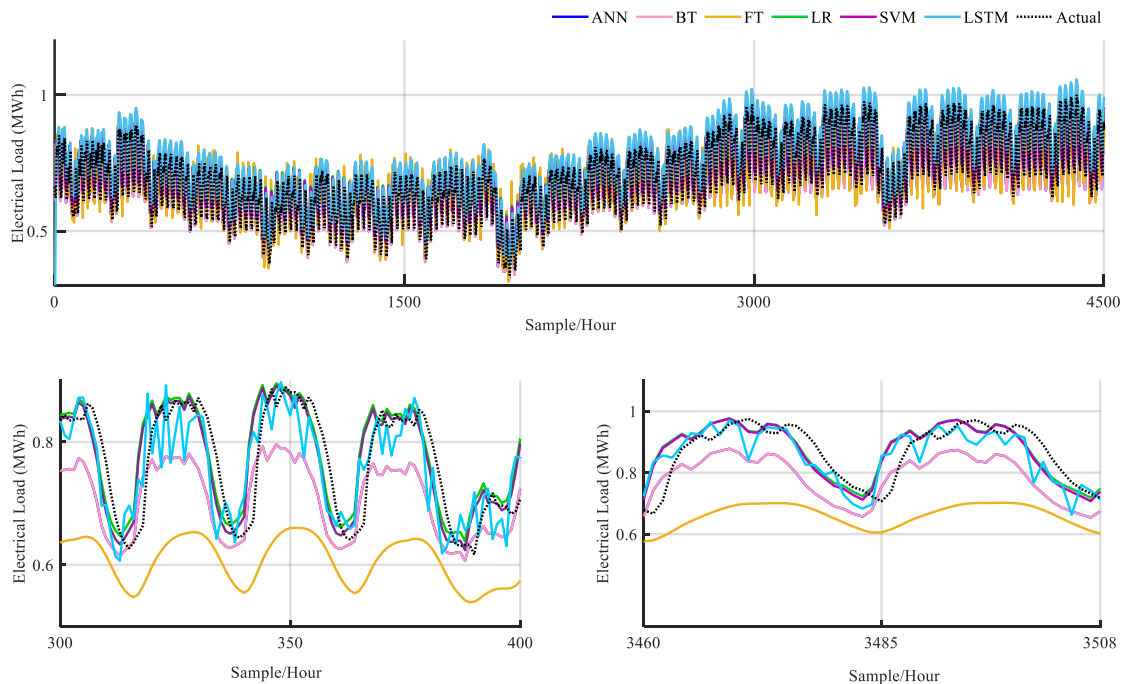


Table 4. Performance metrics of 3-h ahead prediction results

Metrics	LSTM	SVR	LR	ANN	BT	FT
R	0.959	0.882	0.878	0.872	0.852	0.817
RMSE	0.072	0.080	0.087	0.090	0.093	0.099
MAE	0.072	0.075	0.076	0.082	0.087	0.092

In comparison of R values for 3-hour ahead prediction, the best performance was observed in LSTM with 0.959 and FT with 0.817. Considering MAE, the MAE values of the LSTM, SVR, LR, ANN, BT and FT models for 3-hour ahead prediction were obtained as 0.072, 0.075, 0.076, 0.082, 0.087 and 0.092, respectively.

#### 4. Conclusions

In this study, a short-term forecasting was performed using deep learning methods based on Turkey's electricity generation data. In the analysis, 60000 of the hourly total 64602 data between 01.05.2013-12.09.2020 were used for training and 4602 for testing. The results demonstrate the LSTM model showed the highest performance in 1-hour, 2-hour and 3-hour ahead predicts, whereas the Fine Tree method showed the worst performance. For 1-h ahead, R values of LSTM, SVR, LR, ANN, BT and FT models are respectively; 0.996, 0.984, 0.982, 0.980, 0.977 and 0.971 were obtained. For the 2-h ahead, the R values of these models are respectively; 0.973, 0.945, 0.938, 0.934, 0.924 and 0.916 were obtained. R values of the same models for 3-h ahead, respectively; 0.959, 0.882, 0.872, 0.852 and 0.817 were obtained. When the MAE and RMSE values are also examined, the model with the best performance was LSTM. In conclusion, SVR method exhibited higher success than linear regression, artificial neural networks, bagged tree and fine tree methods in estimating short-term electricity generation. It has been concluded that the study can be useful in making electricity load prediction and taking necessary precautions for network planning and production economy, unit work schedules and maintenance and repair timing. In future studies, performance analysis will be made with different algorithms in electric load estimation.

#### References

Al Mamun, M., & Nagasaka, K. (2006). Implementation of an Intelligent Method to Forecast Long-term Electric Demand. *Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 5(2), 75–82.

Altan, G. (2019). DeepGraphNet: Grafiklerin Sınıflandırılmasında Derin Öğrenme Modelleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 319–327. doi:10.31590/ejosat.638256

B. E. Türkay, & D. Demren. (2011). Electrical Load Forecasting Using Support Vector Machines (pp. 49–53). Presented at the International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Nagpur.

Božić, M., & Stojanović, M. (2011). Application of SVM Methods for Mid-Term Load Forecasting. *Serbian Journal Of Electrical Engineering*, 8(1), 73–83.

Elattar, E. E., Goulermas, J., & Wu, Q. H. (2010). Electric Load Forecasting Based on Locally Weighted Support Vector Regression. *IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics—Part C: Applications And Reviews*, 40(4), 438–447.

Ghanbari, A., Naghavi, A., Ghaderi, S. F., & Sabaghian, M. (2009). Artificial Neural Networks and Regression Approaches Comparison for Forecasting Iran's Annual Electricity Load (pp. 675–679). Presented at the International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. doi:10.1109/POWERENG.2009.4915245

Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). *Long short-term memory* (Vols. 1-8, Vol. 9). Neural Computation.

Kaggle. (2021, December 6). Kaggle. *Kaggle data set*. dataset. Retrieved from <https://www.kaggle.com/datasets>

Karaca, C., & Karacan, H. (2016). Investigation Of Factors Affecting Demand For Electricity Consumption With Multiple Regression Method. *SUJEST*, 4(3), 182–195.

Khan, A. R., Razaq, S., Alquthami, T., Moghal, M., Amin, A., & Mahmood, A. (2018). Day Ahead Load Forecasting for IESCO Using Artificial Neural Network and Bagged Regression Tree. Presented at the 1st International Conference on Power, Energy and Smart Grid, Mirpur.

Kong, W., Dong, Z. Y., Jia, Y., Hill, D., Xu, Y., & Zhang, Y. (2017). Short-Term Residential Load Forecasting based on LSTM Recurrent Neural Network. *IEEE Transactions on Smart Grid, PP*, 1–1. doi:10.1109/TSG.2017.2753802

Matijaš, M. (2013). *Electric Load Forecasting Using Multivariate Meta-Learning* (Ph.D Thesis). University of Zagreb, Zagreb.

Nazarko, J., & Zalewski, W. (1999). The Fuzzy Regression Approach to Peak Load Estimation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 14(3), 809–814.

O. Kaynar, H. Ozekicioglu, & Demirkoparan, F. (2017). Forecasting of Turkey's Electricity Consumption with Support Vector Regression and Chaotic Particle Swarn Algorithm. *Journal of Administrative Sciences*, 15(29), 2011–224.

Omidi, A., Barakati, S., & Tavakoli, S. (2015). Application of nuSupport Vector Regression in Short-Term Load Forecasting (pp. 32–36). Presented at the The 20th Iranian Electrical Power Distribution Conference, Zahedan.

Sarhani, M., & El Afia, A. (2015). Electric Load Forecasting Using Hybrid Machine Learning Approach Incorporating Feature Selection. Presented at the Proceedings of the International Conference on Big Data Cloud and Applications, Morocco.

Sun, Z., Qingdang, L., & Wang, L. (2020). Deep Learning Based Visual Object Tracker With Template Update. *University Politehnica of Bucharest Scientific Bulletin Series C-Electrical Engineering And Computer Science*, 82(2), 65–76.

Tosun, S., Ozturk, A., & Taspinar, F. (2019). Short Term Load Forecasting for Turkey Energy Distribution System with Artificial Neural Networks. *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette*, 26(6), 1545–1553.

Wang, J., Zhu, S., Zhang, W., & Lu, H. (2010). Combined modeling for electric load forecasting with adaptive particle swarm optimization. *Energy*, 35(4), 1671–1678.



- Yuan, X., Li, L., & Wang, Y. (2019). Nonlinear Dynamic Soft Sensor Modeling With Supervised Long Short-Term Memory Network. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 1–1. doi:10.1109/TII2019.2902129
- Zhang, G., Patuwo, B. E., & Hu, M. Y. (1998). Forecasting with Artificial Neural Networks: The State of the Art. *International Journal of Forecasting*, 14(1), 35–62.
- Zheng, S., Ristovski, K., Farahat, A., & Gupta, C. (2017). *Long Short-Term Memory Network for Remaining Useful Life estimation*.



# Isparta Koşullarında Kavuzsuz Arpa (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum*) Çeşit/Hatlarının Verim ve Bazı Tarımsal Özelliklerinin Belirlenmesi

Tuğçe Gümüş<sup>1\*†</sup>, İlknur Akgün<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2747-2086), [tjeeg@icloud.com](mailto:tjeeg@icloud.com)  
<sup>2\*</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7476-7226), [ilknurakgun@isparta.edu.tr](mailto:ilknurakgun@isparta.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 4 Kasım 2021 ve Kabul Tarihi 12 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1019172)

**ATIF/REFERENCE:** Gümüş, T. & Akgün, İ. (2021). Isparta Koşullarında Kavuzsuz Arpa (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum*) Çeşit/Hatlarının Verim ve Bazı Tarımsal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 624-628.

## Öz

Bu araştırma 2019-2020 üretim yılında Tesadüf Blokları Deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak Isparta ekolojik koşullarında yürütülmüştür. Çalışmada farklı kavuzlu arpa (iki sıralı Aydan Hanım ve Tosun Paşa) ve kavuzsuz arpa (Yalın, INBYT-6, INBYT-16, INBYT-18, ABA-7 ve ABA-8) çeşit/hatlarında tane verimi ile bazı agronomik özellikler incelenmiştir. Araştırmada genotiplere 10 kg/da azotlu, 6 kg/da hesabıyla fosforlu gübre uygulanmış ve 500 adet/m<sup>2</sup> tohum olacak şekilde ekim yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; tane verimi 156.4-465.5 kg/da, hasat indeksi %26.86-31.37, hektolitre ağırlığı 68.04-78.44 kg, bin tane ağırlığı 28.70-43.33 g, başakta tane sayısı 19.01-26.80 adet ve ham protein oranı %12.58-15.75 arasında değiştiği belirlenmiştir. İncelenen özellikler yönünden çeşit/hatlar arasındaki farklılıklar istatistiksel yönden önemli bulunmuştur. En yüksek tane verimi INBYT-18 hattında belirlenmiş, ancak bu hat ile Tosun Paşa ve ABA-8 genotipleri arasındaki fark önemsizdir. Yine kavuzlu çeşitlerden daha yüksek oranda ham protein içeren (INBYT-6 ve ABA-7) hatların olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kavuzsuz arpa, Tane verimi, Agronomik özellikler, Kalite.

## Determination of Yield and Some Agricultural Characteristics of Hull-less Barley (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum*) Varieties/Lines in Isparta Conditions

### Abstract

This research was carried out in Isparta ecological conditions in the 2019-2020 production years according to the completely blocks design with three replications. In the study, grain yield and some agronomic characteristics of different hulled barley (two-row Aydan Hanım and Tosun Paşa) and hull-less barley (Yalın, INBYT-6, INBYT-16, INBYT-18, ABA-7 and ABA-8) cultivars/lines has been determined. In the study, 10 kg/da of nitrogen and 6 kg/da of phosphorus fertilizer were applied to the genotypes and 500 seeds/m<sup>2</sup> of seeds were sown. According to the research results, it was found that varied between; grain yield 156.4 -465.5 kg/da thousand grain weight 28.70-43.33 g, test weight 68.04-78.44 kg, harvest index 26.86-31.37%, grain number per spike 19.01-26.80 and crude protein rate between 12.58-15.75 %. Differences between varieties and lines were determined to be statistically significant. The highest grain yield was determined in INBYT-18 line But, with this line, Tosun Paşa and ABA 8 genotypes were statistically in the same group. It was determined that lines with higher crude protein content (INBYT-6 and ABA-7) than the husked varieties.

**Keywords:** Hull-less barley, Seed yield, Agronomic characters, Quality,.

\* Bu çalışma Tuğçe Gümüş'ün yüksek lisans tezinden türetilmiştir ve ICAAW 2021'de sözlü olarak sunumu yapılmıştır.

† Sorumlu Yazar: [tjeeg@icloud.com](mailto:tjeeg@icloud.com)

## 1. Giriş

Arpa, dünyada önemli derecede yetiştiriciliği yapılan serin iklim tahılları içerisinde yer almaktadır. Ülkemiz arpanın önemli gen merkezlerinden birisidir. Ayrıca, Dünya’da arpa üreten ilk 10 ülke arasında yer almaktadır. Genel olarak kışlık yetiştiriciliği yapılan arpa, ekiliş ve üretim miktarı olarak Dünya genelinde tahıllar içerisinde dördüncü, Türkiye’de ise ikinci sırada yer almaktadır. Dünyada arpanın ekim alanı yaklaşık 51.15 milyon hektar, üretim 159 milyon ton ve ortalama verim 310.8 kg/da’dır (Anonim, 2019). Türkiye’de arpanın ekiliş alanı 3.097.162 ha, üretimi ise 8.300.000 tondur. Dekara ortalama verim 268 kg/da olup dünya ortalamasının altındadır (Anonim, 2020). Kültüre alınan bitkilerin arasında ilk sıralarda olduğu bilinen arpa, binlerce yıl insan beslenmesinde kullanılmıştır. Anadolu topraklarında da kültürünün çok eski olduğu, anavatanının ‘Bereketli Hilal’ olarak adlandırılan ve Türkiye’yi de kapsayan İsrail, Ürdün, Filistin, Suriye, Irak ve İran gibi ülkelerin içinde bulunduğu coğrafi bölge olduğu bilinmektedir (Harlan ve Zohary, 1966; Gökçöl, 1969; Nesbitt ve Samuel, 1996).

Kültür bitkisi olarak bilinen arpanın, kavuzlu ve kavuzsuz olmak üzere 2 farklı formu mevcuttur. Arpa tanesinin buğday tanesinden temel farklılığı iç kavuz yapısının taneye sıkı bir şekilde yapışık olmasıdır. Bu nedenle arpa, kavuzlu tane olarak adlandırılmaktadır. Kavuzsuz arpada (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. F) iç kavuzlar yoktur ya da çok ince bir yapıdadır. Kavuzsuz arpanın üretimi, ıslah çalışmaları, yem, gıda ve endüstriyel alanlarda kullanılması konularında birçok araştırmalar yapılmaktadır. Son yirmi yılda arpa, yulaf hariç diğer tahıllarla karşılaştırıldığında daha yüksek çözünür diyet lifleri içeriği nedeniyle nutrasötik (nutraceutical) tahıllar arasında yerini almıştır (Derakhshani vd., 2020). Değişen beslenme alışkanlıkları/tarzları ile birlikte nutrasötiklerin ve sağlıklı gıdaların önemi artmıştır. Arpa, diğer tahıllara (buğday ve pirinç) göre, daha yüksek beta gluklanlar ( $\beta$ -1-3;1-4) ve çözünebilir lif içermektedir. Beta gluklanların LDL Kolesterolü (lipoprotein kolesterol) azalttığı böylece kardiyovasküler hastalıklara karşı koruyucu rol sağladığı ve kolon kanseri türlerine karşı koruma sağladığı bilinmektedir (Sarkar vd., 2015; Ames vd., 2008; Madhujith vd., 2007). Düzenli beta gluklan tüketiminin kan şekerini düşürdüğü ve bu nedenle tip II diyabetin önlenmesinde yardımcı olduğu bildirilmektedir (Ames vd., 2008). Arpanın gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin kentsel nüfusunda düzenli ve sağlıklı beslenme stilinin bir parçası olması beklenmektedir (Narwal vd., 2016). Bazı Afrika ülkelerinde ve Tibet bölgesinde arpa, temel gıda olarak tüketilmektedir (Ullrich, 2011).

Kavuzlu arpa, genel olarak hayvan beslenmesinde ve malt sanayisinde kullanılırken, işlenmesi daha kolay olan kavuzsuz arpalar, daha çok insan gıdası olarak kullanılmaktadır. Kavuzsuz arpa, klasik buğday öğütme metod ve ekipmanları ile kepek ve una kolaylıkla ayrılabilir (Karaduman, 2006). Kavuzun çıkarılması ekstra çaba gerektirmekte ve besin kaybına neden olmaktadır. Arpanın gıda olarak doğrudan tüketimi için kavuzsuz çeşitler tercih edilmektedir. Özellikle işlenmiş ürünlerde istenmeyen tat ve rene neden olabilmektedir (Narwal vd., 2016). Kavuzsuz arpa ıslah metodları, biyotik ve abiyotik streslere karşı daha iyi toleransla verimi artırmaya yönelik amaçlarla yapılmaktadır. Kavuzsuz arpanın Isparta ekolojik koşullarında denemeye alınması, üreticilere alternatif ürün sunulmasını ve ekim alanlarının artırılmasını sağlayabilir.

Bu çalışmada, kavuzlu ve kavuzsuz hat/çeşitleri Isparta ekolojik koşullarında tane verimi, verim ögeleri ve bazı kalite özellikleri yönünden incelenmiştir. Özellikle kavuzsuz arpa hatlarının bu ekolojik koşullara uyum yeteneğinin belirlenmesi ve tescilli çeşit ile karşılaştırılarak üstün olan hattın tespit edilmesi hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada tohum materyali olarak, iki sıralı Aydan Hanım (kavuzlu), Tosun Paşa (kavuzlu), Yalın (kavuzsuz) tescilli arpa çeşitleri ile farklı Araştırma Enstitülerinden temin edilen (INBYT-6, INBYT-16, INBYT-18, ABA-7, ABA-8) 5 adet kavuzsuz arpa hattı kullanılmıştır.

### 2.2. Metod

Araştırma, Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre 3 tekerrürlü olarak 15 Kasım 2019 tarihinde kurulmuştur. Çeşit/hatların 1000-tane ağırlığı ölçülerek, metrekarede 500 adet tohum olacak şekilde ekim mibzerle yapılmıştır. Parsel uzunluğu 5 m, sıra arası 18 cm olacak ve bloklar arasında 1.5 m mesafe şekilde ekim planlanmıştır. Dekara 10 kg hesabıyla azotlu, 6 kg/da hesabıyla fosforlu gübre uygulanmıştır. Azotlu gübrenin yarısı ekimle birlikte, geri kalan yarısı ise sapa kalkma döneminde verilmiştir. Yabancı ot mücadelesi 150-200 cc/da aktif madde hesabıyla 2.4-D terkipli herbisit kullanılmıştır. Bitkiler mevsime bağlı yağışlar dışında susuz koşullarda yetiştirilmiştir. Hasat tam olum dönemine gelen parsellerde bitkiler el ile yapılmış ve tohumlar parsel harman makinesiyle harmanlanmıştır.

Araştırmada tane verimi, hasat indeksi (Genç vd., 1988), hektolitre ve bin tane ağırlığı (Sağsöz, 2000), kavuz oranı (Anonymous, 1987) ve protein oranı (Bremner, 1965; Kacar ve İnal, 2010) incelenmiştir.

Denemeden elde edilen verilerin varyans analizi, tesadüf blokları deneme desenine uygun olarak, MİNİTAB paket programı kullanılarak yapılmış, ortalamalar TUKEY testi ile karşılaştırılmıştır.

Denemenin yürütüldüğü dönemde (Kasım-2019-Temmuz-2020) ortalama sıcaklık (11.36°C) aynı döneme ait uzun yıllar ortalamasından (10.26 °C) yüksek, toplam yağış miktarı (421.5 mm) ise aynı döneme ait uzun yıllar toplamından (uzun yıllar toplam yağış 498.2 mm) daha düşük olduğu belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Uzun Yıllar ve Denemenin Yürütüldüğü Yıllara ait Sıcaklık, Nem ve Yağış Verileri

Aylar	Uzun Yıllar (1929 – 2020)			Deneme Yılı 2019-2020		
	Yağış (mm)	Sıcaklık (°C)	Nem (%)	Yağış (mm)	Sıcaklık (°C)	Nem (%)
<b>Kasım</b>	44.8	7.8	69.9	28.6	9.8	71.6
<b>Aralık</b>	86.7	3.6	76	45.3	4.6	77.5
<b>Ocak</b>	81	1.8	75.3	74.1	1.4	70.6
<b>Şubat</b>	67.6	2.9	71.7	71.4	3.8	75.2
<b>Mart</b>	58.8	6	65.9	41.3	7.7	64.8
<b>Nisan</b>	52.1	10.7	61.3	24.2	11.6	58.6
<b>Mayıs</b>	57	15.4	59.2	92.1	16.1	57.1
<b>Haziran</b>	34.3	19.9	52.7	42.6	20.3	52.3
<b>Temmuz</b>	15.9	23.4	45.6	1.9	27	36.5
<b>Ortalama</b>	-	10.16	64.17	-	11.36	62.68
<b>Toplam</b>	498.2	-	-	421.5	-	-

### 3.2. Hasat İndeksi

Deneme yerinin toprak özellikleri; tekstür bakımından killi-tınlı, kireççe zengin (% 28.7), organik maddece fakir (% 1.54), pH'sı 7.66, fosfor bakımından fakir (23.5 mg/kg) ve potasyum (176.2 mg/kg) bakımından zengindir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Tane Verimi

Araştırmada tane verimi 156.4-465.5 kg/da arasında değişmiş ve genotipler arasındaki bu farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $P \leq 0.01$ ). En yüksek tane verimi kavuzsuz INBYT-18 hattında belirlenmiş olmakla birlikte, ABA-8 ve Tosun Paşa genotipleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli değildir. En düşük birim alan tane verimi ise INBYT-6 hattında belirlenmiştir (Tablo 2).

Genotiplerin tane verimi genetik yapının yanında çevre faktörlerinden de etkilenmektedir (Sirat ve Sezer, 2009; Mut vd., 2014). Nitekim Yüksel ve İkincikarakaya (2020) tarafından yapılan çalışmada tane verimi yıllara ve genotiplere göre değiştiğini (1. yıl 159.37–271.63-kg/da, 2. yıl ise 163.13-242.08 kg/da) bildirmişlerdir. Yine Yalın kavuzsuz arpa çeşidinde tane veriminin lokasyonlara ve dozlara (Bursa 164.56-404.39 kg/da, Bakıkesir 80.03-378.41 kg/da) göre değiştiği belirlenmiştir (Kilercioğlu, 2020). Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde tane verimi 36.24-236.50 kg/da (Baydilli, 2017) ve 169.67-363.0 kg/da (Çöken ve Akman, 2016) olarak bildirilmiştir.

Kavuzlu ve kavuzsuz arpa genotiplerinin ortalama hasat indeksi değerleri arasındaki farklılıklar, istatistiksel yönden önemli olduğu belirlenmiştir ( $P \leq 0.01$ ). Hasat indeksi ortalamaları %26.86-31.37 arasında değişim göstermiştir. En yüksek hasat indeksi değeri ABA-8 hattı ve Yalın çeşidinde belirlenmiş olmakla birlikte, INBYT-16 hattı hariç diğer genotiplerle aynı grupta yer almıştır (Tablo 2).

Hasat indeksi tane verimi üzerine doğrudan etkili olup, hasat indeksinin yüksek olması istenmektedir (Ergün, 2005). Ancak hasat indeksi genotipe, çevre şartlarına ve kültürel uygulamalara göre değişebilmektedir. (Ulupınar, 2017; Altındal, 2014) Nitekim Yüksel (2017) tarafından 10 arpa genotipi kullanılarak sulu ve kuru koşullarda yürütülen araştırmada, hasat indeksinin yıllara ve yetiştirme koşullarına göre değiştiğini bildirmiştir (Hasat indeksi 1. yıl kuru koşullarda %22.33-32.16, sulu koşullarda %22.79-33.54, 2. yılda kuru koşullarda %24.57-35.24 sulu koşullarda ise %27.69-32.15). Bu konuda yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde, hasat indeksi değerlerinin %35.3-39.0 (Sirat ve Sezer, 2009), %15.50-30.17 (Çöken ve Akman, 2016) arasında değiştiği tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarımıza göre genotiplere ait hasat indeksi ortalamaları % 26.86-31.37 arasında olup ve literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Kavuzlu ve Kavuzsuz Genotiplerde İncelenen Bazı Özelliklere Ait Ortalama Değerler

Genotipler	Tane Verimi	Hasat İndeksi	Hektolitire	1000-Tane Ağırlığı	Başakta Tane Sayısı	Ham Protein Oranı
Aydan Hanım	339.00 C*	28.37 AB*	70.51 B*	43.26 A*	25.91 A	13.58 C*
Tosun Paşa	410.20 AB	28.79 AB	71.60 AB	<b>43.33 A</b>	<b>26.80 A</b>	12.69 D
Yalın	354.90 BC	31.13 A	75.07 AB	38.71 AB	24.44 AB	<b>12.58 D</b>
ABA-7	263.20 CD	30.12 AB	<b>68.04 B</b>	32.57 BC	<b>19.01 C</b>	15.18 A
ABA-8	461.40 A	<b>31.37 A</b>	<b>78.44 A</b>	34.04 BC	19.96 BC	14.34 B
INBYT-6	<b>156.40 E</b>	27.72 AB	71.07 AB	<b>28.70 C</b>	20.04 BC	<b>15.75 A</b>
INBYT-16	360.40 BC	<b>26.86 B</b>	70.21 B	35.99 B	19.24 C	14.35 B
INBYT-18	<b>465.50 A</b>	28.71 AB	69.90 B	35.93 B	19.27 C	13.82 BC
Ortalama	<b>351.33</b>	<b>29.13</b>	<b>71.85</b>	<b>36.56</b>	<b>21.83</b>	<b>14.03</b>

\* Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli değildir.

### 3.3. Hektolitire

Kavuzlu ve kavuzsuz hat/çeşitlerde hektolitire ağırlığı, istatistiksel olarak önemli farklılık göstermiştir ( $P \leq 0.01$ ) ve 68.04-78.44 kg arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek hektolitire ağırlığı ABA-8 hattında belirlenmiş, bu hat ile Yalın, Tosun Paşa çeşitleri ve INBYT-6 hattı arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. En düşük hektolitire ağırlığı ise ABA-7 hattında belirlenmiş olmakla birlikte ABA-8 hattı hariç diğer genotiplerle aynı grupta yer almıştır (Tablo 2).

Arpada önemli kalite kriterlerinden birisi hektolitire ağırlığıdır. Özellikle malt sanayisinde kullanıldığında hektolitire ağırlığının yüksek olması istenmektedir. Tanenin yoğunluğu ve şeklinin hektolitire ağırlığını etkileyebildiği bildirilmiştir (Öztürk vd., 2001). Hektolitire ağırlığı tanenin endosperm yapısına ve kavuz oranına bağlı olarak genotiplerde farklılık gösterebilmektedir (Kün vd., 1992), Nitekim Kumar vd., (2021) e-ISSN: 2148-2683

tarafından kavuzsuz arpa genotipleri üzerinde yürütülen çalışmada, hektolitire ağırlığının 65.6-79.6 kg arasında değiştiği bildirilmiştir. Arpa üzerinde yapılan diğer çalışmalarda, hektolitire ağırlığının 62.6-68.4 kg (Sirat ve Sezer, 2009), 73.0-80.0 kg (Kilercioğlu, 2020) ve 71.24-81.11 kg (Köse vd., 2021) arasında değiştiği bildirilmiştir. Araştırmada genotiplerin hektolitire ağırlığı ortalamaları 68.04-78.44 kg arasında değişmiş ve denemede kullanılan tescilli çeşitlerden daha fazla hektolitire ağırlığına sahip hatlar belirlenmiştir.

### 3.4. Bin Tane Ağırlığı

Çalışmada genotiplerin bin tane ağırlığı 28.70-43.33 g arasında değişmiş, genotipler arasındaki bu farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $P \leq 0.01$ ). Kavuzlu arpa çeşitlerinde 1000-tane ağırlığı, kavuzsuz olarak denemeye alınan hatlardan daha fazla olduğu belirlenmiştir. En düşük 1000-tane ağırlığı INBYT-6 hattında belirlenmiş, ancak bu hat ile ABA-8 ve ABA-7 hatları arasındaki farklılık önemli olmamıştır (Tablo 2).



Bin tane ağırlığı verimi doğrudan etkilemekte olup, iklim şartlarına, bitkideki ana sap ve kardeş sayısına ve kültürel uygulamalara bağlı olarak değişebilmektedir (Kırtok ve Çölkesen, 1985; Kü, 1996). Kumar vd., (2021) tarafından 29 kavuzsuz arpa genotipi ile yürütülen bir çalışmada, bin tane ağırlığı 32.5-49.1 g arasında değişmiş ve tane doldurma oranı ile tane doldurma süresinin bin tane ağırlığını belirleyen önemli faktörler olduğunu bildirilmiştir. Araştırmacılar genel olarak kavuzsuz arpa genotiplerinin daha düşük verimli olduğunu, bunun nedenlerinden bir tanesinin de bin tane ağırlığının daha az olmasıyla ilişkilendirmişlerdir. Kilercioğlu, (2020) arpada bin tane ağırlığının lokasyonlara ve azot dozlarına göre değiştiğini bildirmiştir (Bursa lokasyonunda 41.73-45.37 g ve Balıkesir lokasyonunda ise 43.77-47.03 g). Kavuzsuz arpa genotiplerinde ortalama bin tane ağırlığı 45.26-60.82 g arasında değişmiştir (Özdemir, 2019). Farklı arpa genotiplerinde de bin tane ağırlığı 41.2-51.3 g olarak bildirilmiştir (Sirat ve Sezer, 2009). Ottekin vd., (1996) kavuzlu arpa genotiplerinde bin tane ağırlığının 40 g'ın üzerinde olduğunu, kavuzsuz genotiplerde ise bin tane ağırlığının daha düşük ve geniş bir varyasyon bulunduğunu (29-43.3 g) bildirmişlerdir. Çalışma sonuçlarımıza göre kavuzlu genotiplerde bin tane ağırlığı daha yüksek, kavuzsuz genotiplerde daha düşük bulunmuş olup literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür.

### 3.5. Başakta Tane Sayısı

Araştırmada arpa genotiplerine ait başakta tane sayıları 19.01-26.80 adet arasında değişmiştir. Genotiplerin başakta tane sayısı istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur ( $p<0.01$ ). Araştırmada başakta tane sayıları tescilli çeşitlerde hatlardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Tosun Paşa, Aydan Hanım ve Yalın çeşitleri istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. En düşük başakta tane sayısı ise kavuzsuz ABA-7 hattında belirlenmiştir (Tablo 2).

Arpada başakta tane sayısı, tane verimini etkileyen önemli faktörlerden birisidir. Başaktaki tane sayısı fertil başakçık sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle nisan ve mayıs aylarının serin geçmesi ve yeterli yağışın bulunduğu koşullarda başakta tane sayısı ve tane iriliği artmaktadır. Bu dönemin kurak ve sıcak geçmesi başakta steriliteyi arttırmakta ve dolayısıyla döllenmeyi olumsuz etkilemekte ve başakta tane sayısı azalmaktadır (Dencic vd, 1995; Şentürk ve Akgün, 2014). Başakta tane sayısının tane verimine doğrudan etkilediği ve bu etkinin yıllara ve genotiplere göre değiştiği bildirilmiştir (Kırtok ve Çölkesen, 1985; Yüksel ve İkincikarakaya 2020). Diğer çalışmalar incelendiğinde başakta tane sayıları, Bursa lokasyonunda 18.37-24.63 adet ve Balıkesir lokasyonunda 17.33-23.07 adet (Kilercioğlu, 2020), 25 farklı arpa genotipi ile yürütülen çalışmada 21.65-60.15 adet (Köse vd., 2021) arasında değiştiği bildirilmiştir.

Araştırmada başakta tane sayısının incelenen diğer araştırma sonuçları ile farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum kullanılan genotiplerin farklı olması yanında çevre faktörlerinden de kaynaklanmaktadır.

### 3.6. Ham Protein Oranı

Araştırmada arpa genotiplerinin ham protein oranları %12.58-15.75 arasında değişmiştir. Genotipler arasındaki bu farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $P\leq 0.01$ ). En yüksek ham protein oranı INBYT-6 ve ABA-7 hatlarında belirlenmiş ve istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. En düşük ham protein oranı Tosun Paşa ve Yalın çeşitlerinde belirlenmiştir. Genel olarak denemede kullanılan kavuzsuz arpa

hatlarının ham protein oranları, tescilli çeşitlerden daha yüksek oldukları saptanmıştır (Tablo 2).

Arpada protein oranı maltlık (düşük oranda) ve yemlik çeşitleri (yüksek oranda) ayırt etmek için kullanılmaktadır (Kün vd. 1992). Kavuzsuz arpa, insan gıdası olarak kullanılması nedeniyle protein oranının yüksek olması istenmektedir. INBYT-6 ve ABA-7 hatlarının protein oranlarının tescilli çeşitlerden daha yüksek olduğu belirlenmiş olup, bu hatlar insan beslenmesinde kullanılabilir. Ayrıca protein oranının genetik özelliklere, iklim koşullarına ve farklı kültürel uygulamalara bağlı olarak değişiklik gösterdiği bilinmektedir (Yüksel ve İkincikarakaya, 2020). Yapılan çalışmalar incelendiğinde protein oranları %7.72-16.86 (Yüksel ve İkincikarakaya, 2020) ve %12.02-15.09 (Özdemir, 2019) arasında tespit edilmiştir. Ottekin vd., (1996) tarafından yapılan çalışmada kavuzlu arpalarda protein oranının daha düşük ve dar bir varyasyonun bulunduğu (%11.8-15.5), kavuzsuz arpalarda ise daha yüksek protein oranına ve daha geniş bir varyasyona sahip olduğunu (%13.2-19.5) ileri sürmüşlerdir. Çalışma sonuçlarımıza göre genotiplerin ham protein oranlarına ait değerler %12.58-15.75 arasında yer almış ve denemede kullanılan çeşitlerden daha yüksek protein oranına sahip hatlar olduğu belirlenmiştir.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada, kavuzlu ve kavuzsuz hat/çeşitler Isparta ekolojik şartlarında tane verimi, bazı verim öğeleri ve kalite özellikleri yönünden karşılaştırılmıştır. Özellikle son yıllarda popüler olan vegan/vejeterian beslenme düzeni, insanları lif kaynakları ve protein oranları yüksek olan bitkisel ürünlere yönlendirmektedir. Arpa tahıllar arasında en düşük glikemik indekse ve yüksek oranda beta glukana (özellikle  $\beta$ -1-3;1-4) içeriğine sahip olması nedeniyle insan beslenmesinde sağlıklı gıda olarak önerilmektedir. INBYT-18 hattının tane veriminin yüksek ve ham protein oranının ise ortalamanın üzerinde olması, gıda olarak kullanılma potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir.

## 5. Teşekkür

2021-YL1-0118 Nolu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

## Kaynakça

- Altındal, D. (2014). Göller Yöresinde Yetiştirilen Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin/Populasyonlarının Genetik Uzaklıklarının Belirlenmesi Etkisi. Ziraat Mühendisliği, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye
- Ames, N. P., Rhymer, C. R. (2008). Issues Surrounding Health Claims For Barley. The Journal of Nutrition, 138(6), 1237S-1243S.
- Anonymous (1987). EBC Analysis by the European Brewery Convention Brauerei-und Getränke-rundschau. CH- 8047 Zurich Switzerland.
- Anonim, (2019). FAO, Food and Agriculture Organization <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (erişim 09.10.2021).
- Anonim, (2020). TÜİK Bitkisel Üretim İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1> (erişim 09.10.2021).

- Baydilli, M. (2017). Şanlıurfa İli Hilvan İlçesinde Kuru Koşullarda 10 Arpa Çeşidinin Verim ve Performanslarının Karşılaştırılması Ziraat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye
- Bremner, J. M. (1965). Organic forms of nitrogen. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties, 9, 1238-1255.
- Çöken, İ., Akman, Z. (2016). Isparta Ekolojik Koşullarında Bazı Arpa (*Hordeum Vulgare* L.) Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(1).
- Dencic, S., Kastori, R., Kobiljski, B., Petrovic, M. (1995). Influence of drought on Morphologic and Agronomic Traits. Institut za ratastvo i povrtarstvo 23, 203-211.
- Derakhshani Z, Malherbe, F. Panozzo, J.F., Bhave, M. (2020). Evaluation of Diverse Barley Cultivars and Landraces for Contents of Four Multifunctional Biomolecules with Nutraceutical Potential. Current Research in Nutrition Food Science Bhopal 8(2), 38-390.
- Ergün, N., (2005). İleri Kademe Arpa (*Hordeum Vulgare* L.) Hatlarında Verim Ve Verime Etkili Bazı Karakterlerin İncelenmesi. Ziraat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- Genç, İ., Ülger, A.C., Yağbasanlar, T., Kırkok, Y., Topal, M. (1988). Çukurova Koşullarında, Triticale, Buğday ve Arpanın Verim ve Verim Ögeleri Üzerinde Kıyaslamalı Bir Araştırma. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi 3(2), 1-13.
- Gökgöl M., 1969. Serin İklim Hububatı Ziraatı ve İslahı (Buğday, Çavdar, Arpa Ve Yulaf). Tarım Bakanlığı Ziraat İşleri Genel Müdürlüğü. 407 s. Özaydın Matbaası, İstanbul
- Harlan, J. R., Zohary, D. (1966). Distribution of Wild Wheats and Barley. Science, 153(3740), 1074-1080.
- Kacar B, Inal, A. 2010. Bitki Analizleri. Nobel No:1241, Ankara
- Karaduman, Y. (2006). Kavuzsuz Arpa Potansiyeli. Unlu Mamuller Tek. Dergisi, 74, 21-26.
- Kırtok, Y., Çölkesen, M. 1985. Çukurova Koşullarında Denemeye Alınan Arpa Çeşitlerinde Önemli Bazı Verim Unsurları Üzerinde Path Katsayısı Analizi. Doğa Bilim Dergisi, 9 (1)
- Kilercioğlu, B. (2020). Güney Marmara Koşullarında Farklı Azot Dozlarının Kavuzsuz Arpa Çeşidinin (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum hook. ef.*) Verim ve Verim Ögeleri Üzerine Etkisi. Ziraat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye
- Köse E. D., Ö., Mut, Z., Kardeş, M, Y. (2021). Bilecik Koşullarında Kavuzsuz Arpa Genotiplerinin Tane Verimi ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. ISPEC Journal of Agricultural Sciences, 5(3), 608-615.
- Kumar, D., Verma, R. P. S., Narwal, S., Singh, J., Malik, R., Kharub, A. S., Singh, G. P. (2021). Identification of Promising Sources of Hulless Barley (*Hordeum vulgare* L.) For Important Quality Traits. Journal of Cereal Research, 13(2).
- Kün, E. (1996). Tahıllar-I (Serin İklim Tahılları). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1451. Ders Kitabı:431, Ankara.
- Kün E, Özgen M, Ulukan H. (1992). Arpa Çeşit ve Hatlarının Kalite Özellikleri Üzerinde Araştırmalar. II. Arpa-Malt Semineri, 25-27 Mayıs 1992, Konya, 70-95.
- Madhujith, T., Shahidi, F. (2007). Antioxidative and Antiproliferative Properties of Selected Barley (*Hordeum vulgare* L.) Cultivars and Their Potential for Inhibition of Low-Density Lipoprotein (LDL) Cholesterol Oxidation. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(13), 5018-5024.
- Mut, Z., Sirat, A., Sezer, İ. (2014). Samsun Koşullarında Bazı İki Sıralı Arpa (*Hordeum Vulgare* conv. *distichon*) Genotiplerinde Tane Verimi İle Başlıca Tarımsal Özelliklerin Belirlenmesi ve Stabilitate Analizi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 24 (1), 60-69.
- Narwal, S., Kumar, D., Verma, R. P. S. (2016). Effect of Genotype, Environment and Malting on the Antioxidant Activity and Phenolic Content of Indian Barley. Journal of Food Biochemistry, 40(1), 91-99.
- Nesbitt, M., Samuel, D. (1996). Archaeobotany in Turkey: A Review of Current Research. Orient-Express, 3, 91-96.
- Ottekin, A., Akar, T., Tosun, H., Ozan, A. N., Demir, Z. (1996). Kavuzsuz Arpanın Tarımsal ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. IV. Ulusal Nükleer Tarım ve Hayvancılık Kongresi, Tebliğ Özetleri, Bursa, s.29.
- Özdemir, A. (2019). Kavuzsuz Arpa (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum*) Genotiplerinde Kışlık ve Yazlık Ekimin Verim ve Bazı Agronomik Özellikler Üzerine Etkisi. Ziraat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye
- Öztürk, A., Çağlar, Ö., Tufan, A. (2001). Bazı Arpa Çeşitlerinin Erzurum Koşullarına Adaptasyonu. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 32(2), 109-115.
- Sağsöz, S. (2000). Tohumluk Bilimi. Atatürk Üniversitesi Yayınları, 677, 188s., Erzurum.
- Sarkar, P., Lohith Kumar, D. H., Dhupal, C., Panigrahi, S.S., Choudhary, R. (2015). Traditional and Ayurvedic Foods of Indian Origin. Journal of Ethnic Foods 2; 97-109
- Sirat, A., Sezer, İ. (2009). Bafra Ovası Koşullarına Uygun (*Hordeum vulgare* L.) Çeşitlerinin Belirlenmesi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 24(3), 167-173.
- Şentürk, Ş., Akgün, İ. (2014). Bazı Triticale Genotiplerinin Batı Geçit Bölgesinde Verim ve Verim Unsurlarının Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(1), 16-26.
- Ullrich, S. E. (2011). Significance, Adaptation, Production, and Trade of Barley. In: Ullrich SE, Editor. Barley: Production, Improvement, and Uses. Oxford: WileyBlackwell. pp. 3-13.
- Ulupınar, Ü. (2017). Isparta Koşullarında Makarnalık Buğday (*Triticum durum* desf.) Çeşitlerinin Adaptasyonu ve Farklı Azot Dozu Uygulamalarının Verim ve Verim Unsurlarına Etkisi. Ziraat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye
- Yüksel, S. (2017). Bazı Kavuzsuz Arpaların (*Hordeum Vulgare* L. var. *nudum Hook. F.*) Gelişme Dönemleri ile Verim ve Verim Ögelerinin Belirlenmesi. Ziraat Mühendisliği, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- Yüksel, S., İkincikarakaya Ü. S. (2020). Bazı Kavuzsuz Arpaların (*Hordeum Vulgare* L. var. *Nudum Hook. f.*) Verim ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 23(3), 705-712.



# Sera Koşullarında Farklı Sulama Suyu Miktarı ve Solucan Gübresi Dozlarının Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) Bitkisinin Bazı Vejetatif Özelliklerine Etkileri\*

Muhtasım Toprak<sup>1</sup>, Ulaş Şenyiğit<sup>2\*†</sup>

<sup>1</sup>T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Sütçüler İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü, Sütçüler, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6993-327X) muhtasimtoprak@gmail.com

<sup>2</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4864-0790),  
ulassenyigit@isparta.edu.tr

(First received 8 November 2021 and in final form 12 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1020633)

**ATIF/REFERENCE:** Toprak, M. & Şenyiğit, U. (2021). Sera Koşullarında Farklı Sulama Suyu Miktarı ve Solucan Gübresi Dozlarının Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) Bitkisinin Bazı Vejetatif Özelliklerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 629-633.

## Öz

Bu araştırma, farklı sulama suyu miktarı ve solucan gübresi dozlarının fesleğen bitkisinin (*Ocimum basilicum* L.) vejetatif özelliklerinden bitki boyu, boğum sayısı ve bitki gövde çapına etkilerini belirlemek amacıyla Isparta ili, Sütçüler ilçesi, Çandır köyünde kurulan plastik serada yer alan saksılarda yürütülmüştür. Çalışmada, farklı solucan gübresi dozları (G<sub>0</sub>; solucan gübresi kullanılmayan, G<sub>1</sub>; 3.5 g/saksı ve G<sub>2</sub>; 7 g/saksı) ile farklı sulama suyu miktarlarının (S<sub>100</sub>: tam sulama, S<sub>75</sub>, S<sub>50</sub>, S<sub>25</sub>: kısıtlı sulama ve S<sub>0</sub>: susuz) uygulandığı konular yer almıştır.

En düşük sulama suyu miktarı S<sub>0</sub> konularına 27.66 mm ile uygulanırken, en yüksek S<sub>100</sub>G<sub>0</sub> konusuna 1699.56 mm olarak uygulanmıştır. Çalışmada, en yüksek bitki boyu, S<sub>75</sub>G<sub>2</sub> konusundan (34.02 cm) elde edilirken, en düşük bitki boyu ise S<sub>0</sub>G<sub>1</sub> konusundan (12.44 cm) elde edilmiştir. Bitki gövdesindeki boğum sayısı en fazla 5.60 adet/bitki ile S<sub>100</sub>G<sub>2</sub> konusundan, en az ise 2.76 adet/bitki ile S<sub>0</sub>G<sub>0</sub> ve S<sub>0</sub>G<sub>1</sub> konularından gözlenmiştir. Ölçülen bitki gövde çapı değerleri 6.15 mm ile (S<sub>100</sub>G<sub>1</sub>) 3.29 mm (S<sub>0</sub>G<sub>0</sub>) arasında değişmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bitki boyu, boğum sayısı ve bitki gövde çapı değerleri, farklı sulama konuları arasında istatistiksel olarak önemli bulunurken (p<0.01), solucan gübre dozu konuları arasında önemsiz bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Fesleğen, Solucan Gübresi, Sulama Suyu, Bitki Boyu, Boğum Sayısı, Gövde Çapı

## The Effects of Different Irrigation Water Amounts and Vermicompost Doses on Some of the Vegetative Parameters of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Greenhouse Conditions

### Abstract

This study was carried out in pots with soil in a plastic greenhouse established in Isparta province, Sütçüler district, Çandır village in order to determine the effects of different vermicompost doses (G<sub>0</sub>; no vermicompost, G<sub>1</sub>; 3.5 g/pot and G<sub>2</sub>; 7 g/pot) and irrigation water amounts (S<sub>100</sub>: full irrigation, S<sub>75</sub>, S<sub>50</sub>, S<sub>25</sub>: deficit irrigation and S<sub>0</sub>: no irrigation) on vegetative parameters such as plant height, number of nodes and plant stem diameter of basil (*Ocimum basilicum* L.).

While the maximum irrigation water amount were applied to S<sub>100</sub>G<sub>0</sub> treatment as 1699.56 mm, the minimum was applied to S<sub>0</sub> treatments as 27.66 mm. The highest and lowest plant height values related to the treatments were determined from S<sub>75</sub>G<sub>2</sub> (34.02 cm) and S<sub>0</sub>G<sub>1</sub> (12.44 cm), respectively. The maximum number of nodes in the plant stem was observed from S<sub>100</sub>G<sub>2</sub> with 5.60 units/plant, and the least from S<sub>0</sub>G<sub>0</sub> and S<sub>0</sub>G<sub>1</sub> treatments with 2.76 units/plant. The measured plant stem diameter values ranged from 6.15 mm (S<sub>100</sub>G<sub>1</sub>) to 3.29 mm (S<sub>0</sub>G<sub>0</sub>). According to the results obtained, plant height, number of nodes and plant stem diameter values were found to be statistically significant among different irrigation treatments (p<0.01), while was found to be insignificant among vermicompost doses treatments.

**Keywords:** Basil, Vermicompost, Irrigation Water, Plant Height, Node Number, Stem Diameter

\* Bu makalede kullanılan veriler YÖK Ulusal Tez Merkezinde yer alan 672114 nolu Yüksek Lisans tezinden alınmıştır. Sözlü sunum olarak ICAAW 2021 Kongresinde sunulmuştur.

† Corresponding Author: [ulassenyigit@isparta.edu.tr](mailto:ulassenyigit@isparta.edu.tr)



## 1. Giriş

Türkiye, tıbbi ve aromatik bitkiler bakımından, dünyanın zengin ülkelerinden biridir. Bu bitkiler içerisinde önemli bir yere sahip olan fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) Labiatae familyasının, Ocimoideae alt familyasından Ocimum cinsi, tek yıllık otsu bir bitki türü olup birçok çeşide sahiptir (Balyan ve Pushpangadan, 1988).

Türkiye nüfusunun tahminlere göre 2050 yılında 110 milyon olacağı beklenmektedir (TÜİK, 2020). Bu nüfusun ihtiyaç duyduğu gıda ile su gereksinimlerini karşılamak için hem su hem de toprak kaynaklarının akılcı kullanılıp, çok iyi korunması gerekmektedir. Sulama, diğer tarımsal girdilerin etkinliğini ve verimliliğini artıran, tarımsal üretimde karlılığı ve ekonomiyi sağlayan çok yönlü uygulamalardan birisidir (Korukçu, 1992). Kısıtlı su kaynakları ile bitkinin tam su gereksiniminden daha az su uygulanması olarak tanımlanan kısıtlı sulama, sulama suyu kullanımının azaltılması ve su kullanım verimliliğini artırma hedefine ulaşmak için önemli potansiyele sahip bir sulama stratejisidir. Bitki veriminde önemli kayıplara neden olmadan, bitkinin suya duyarlılığına göre tüm yetiştirme sezonu boyunca veya farklı gelişim dönemlerinde belirli oranlarda su tasarrufu sağlayan kontrollü kısıtlı sulamanın, su kullanımını azaltarak ekonomik geliri artırdığı bildirilmiştir (Feres ve Sariano, 2007; Ketten ve Değirmenci, 2020; Bekele ve Tilahun, 2007; Geerts ve Raes, 2009).

Bitkisel üretimde bir diğer önemli girdi olan bitki besin ihtiyacının organik kaynak ile kısmen karşılandığı vermikompost uygulamaları, bitkisel üretimde kalite ve verim artışı ile birlikte yüksek su tutma kapasitesi, kation değişim kapasitesi, gözeneklilik oranı ile havalanma ve mikrobiyal aktivite sağlayarak toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine de olumlu katkılar sağlamaktadır (Bossuyt vd., 2005; Tejada ve González, 2009; Ateş ve Coşkan, 2016; Bellitürk, 2018).

Bu araştırma, farklı sulama suyu miktarı ve solucan gübresi dozlarının fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) bitkisinin bazı vejetatif gelişim parametrelerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma, Isparta İli, Sütçüler İlçesi, Çandır Köyünde (37° 26' 13" K enlemi ile 30° 53' 40" D boylamı arasında, denizden yüksekliği 280 m) yer alan taban alanı 540 m<sup>2</sup>, yüksekliği ise 4 m olan ısıtmasız plastik örtülü serada 2020 yılı Nisan-Ağustos dönemleri arasında yürütülmüştür. Üst çapı 21 cm, yüksekliği 19 cm ve yüzey alanı 346 cm<sup>2</sup> olan saksılarda, yetiştirme ortamı olarak Tınlı bünyeye sahip, hacim ağırlığı 0.97 g/cm<sup>3</sup> ve saksı kapasitesi 120.6 mm olan toprak kullanılmıştır. Denemenin yürütüldüğü bölge, Akdeniz iklimine yakın bir iklim rejimine sahip olup, Sütçüler ilçesinin ortalama sıcaklığı 14.1 °C, ortalama bağıl nemi %58.1 ve ortalama toplam yağış miktarı ise 836 mm'dir (MGM, 2020). Deneme serasında, vejetasyon dönemi boyunca en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri aylık ortalama 7.3 ile 43.1 °C arasında değişirken oransal nem değerleri %10 ile % 90 arasında değişmiştir. Uygulanan sulama suyunun elektriksel iletkenliği 0.355 mmhos/cm, pH'ı 7.67 ve kalite sınıfı C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>'dir. Çalışmada, Fesleğen (*Ocimum basilicum* L) türünün tek yıllık Genovese çeşidi kullanılmıştır.

Deneme konularına göre solucan gübre dozları toprak ile iyice karıştırıldıktan sonra saksılara konulmuş ve her saksıya 3 adet fide dikilmiştir. Denemede toplam 52.5 g/saksı MAP (Mono Amonyum Fosfat), 120 g/saksı (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Amonyum Sülfat) ve 123 g/saksı K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Potasyum Sülfat) uygulanmıştır.

Farklı solucan gübre dozlarının oluşturulmasında 0 g/saksı (G<sub>0</sub>), 3.5 g/saksı (G<sub>1</sub>) ve 7 g/saksı (G<sub>2</sub>) oranları kullanılmıştır. Her solucan gübre dozu için eksilen toprak nemini saksı kapasitesine çıkarmak için verilecek suyun tamamının uygulandığı (S<sub>100</sub>) konu baz alınarak bu su miktarının % 25, % 50 ve % 75'nin (S<sub>25</sub>, S<sub>50</sub>, S<sub>75</sub>: kısıtlı sulama) uygulandığı sulama konuları ve susuz konu (S<sub>0</sub>) yer almıştır.

Denemede, sulama konularına başlamadan önce tüm konular saksı kapasitesine getirilmiş ve ardından konulara uygulanan sulama suyu miktarının belirlenmesi için saksılar periyodik olarak tartılarak toprak nem düzeyleri gravimetrik yolla izlenmiştir. Her bir gübre dozu için sulama konularına uygulanacak sulama suyu miktarları ağırlık esasına göre Eşitlik 1 yardımıyla belirlenmiştir (Şenyiğit vd., 2021).

$$S=(SK-MN) \times Sd \quad (1)$$

Eşitlikte, S, sulama suyu (ml), SK, saksı kapasitesi (g), MN, sulama öncesi mevcut nem (g), Sd, sulama düzeyidir (%).

Denemede bitkilerin boyları, toprak yüzeyinden bitkinin en uç noktasına kadar cetvel ile, bitki gövde çapları kumpas yardımıyla ölçülürken, boğum sayıları ise gözlem yoluyla sayılarak tespit edilmiş ve saksıda yer alan üç bitkinin ortalaması alınmıştır.

Deneme, tesadüf parsellerinde faktöriyel düzen deneme desenine göre 3 yinelemeli olarak yürütülmüş ve istatistiksel analizler için Minitab® 19 istatistik programı ve konular arasındaki farklılıkları belirlemek için Tukey Testi uygulanmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Sulama Suyu

Sulama suyu miktarı, en yüksek S<sub>100</sub>G<sub>0</sub> konusuna toplam 1699.56 mm, en düşük ise S<sub>0</sub> konularına 27.66 mm (can suyu) olarak uygulanmıştır (Tablo 3.1). G<sub>1</sub> ve G<sub>2</sub> konularında uygulanan sulama suyu miktarları genel olarak solucan gübresi uygulanmayan G<sub>0</sub> konularına göre daha düşük olurken, tam sulama konularında sırasıyla yaklaşık %2.36 ve %4.57 oranlarında daha az gerçekleşmiştir. Uygulanan sulama suyu miktarı Ekren vd. (2012) ve Borivoj vd. (2017) göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Uygulanan sulama suyu miktarının değinilen çalışmalara göre daha yüksek olması, çalışmanın sera koşullarında yürütülmesi, vejetasyon süresinin uzun olması ve bölgenin iklim özellikleri ile açıklanabilir.

### 3.2. Bitki Boyu

Çalışmada en yüksek bitki boyu, S<sub>75</sub>G<sub>2</sub> konusundan 34.02 cm, en düşük bitki boyu ise S<sub>0</sub>G<sub>1</sub> konusundan 12.44 cm olarak elde edilmiştir (Tablo 3.2). Elde edilen bitki boyu verilerine göre sulama düzeyleri konuları arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde farklılıklar belirlenmiştir (p<0.01). Aynı sulama düzeyindeki solucan gübre dozu konuları arasında elde edilen bitki boyu değerleri ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Genel olarak, bitki boyunun solucan gübre dozu ve sulama suyu düzeyinin artmasıyla Şenyiğit vd. (2021) tarafından cam sera koşullarında yapılan çalışmayla benzer olarak arttığı



gözlenmiştir. S<sub>100</sub> ve S<sub>75</sub> sulama düzeylerinde elde edilen bitki boyu en üst sınıfta yer alırken onu sırasıyla, S<sub>50</sub>, S<sub>25</sub> ve S<sub>0</sub> konuları takip etmiştir. Çalışmada tam sulama konularında elde edilen bitki boyu değerleri, Telci (2005), Moghaddam (2010), Karık vd. (2014), Cabar (2016), Köse (2017), Karaca vd. (2017), Yıldız vd.

(2017 tarafından su kısıtlı olmayan çalışmalardan yapılmış sonuçlar ile benzerlik gösterirken, Ekren vd. (2012), Sifola ve Barbieri (2006), Omer vd. (2008), Kulan (2013) ve Sönmez vd. (2019) tarafından elde edilen değerlerden daha düşük çıkmıştır.

Tablo 3.1. Konulara ilişkin sulama suyu miktarı (mm)

Konular	S <sub>0</sub>	S <sub>25</sub>	S <sub>50</sub>	S <sub>75</sub>	S <sub>100</sub>
G <sub>0</sub>	27.66	445.63	863.61	1281.58	1699.56
G <sub>1</sub>	27.66	435.46	843.25	1251.05	1658.85
G <sub>2</sub>	27.66	425.91	824.15	1222.40	1620.64

Tablo 3.2. Deneme konularına ilişkin bitki boyu değerleri (cm)

Konular	S <sub>0</sub>	S <sub>25</sub>	S <sub>50</sub>	S <sub>75</sub>	S <sub>100</sub>	Ortalama
G <sub>0</sub>	12.62 ± 0.92	17.71 ± 0.45	25.36 ± 0.84	31.42 ± 2.08	31.89 ± 2.58	23.80 ± 2.12
G <sub>1</sub>	12.44 ± 0.58	17.78 ± 0.52	26.56 ± 1.15	31.78 ± 1.59	33.20 ± 1.35	24.35 ± 2.19
G <sub>2</sub>	12.58 ± 0.27	19.62 ± 0.21	28.02 ± 1.60	34.02 ± 1.40	33.00 ± 0.90	25.45 ± 2.23
Ortalama	12.55 ± 0.33 D	18.37 ± 0.38 C	26.64 ± 0.73 B	32.41 ± 0.95 A	32.70 ± 0.90 A	

### 3.3. Gövdedeki Boğum Sayısı

Aynı sulama düzeyindeki farklı solucan gübre dozu konuları arasında elde edilen boğum sayısı değerleri istatistiksel olarak önemli bulunmazken (p<0.01), en yüksek boğum sayısı değerleri istatistiksel olarak aynı sınıfta yer alan S<sub>100</sub> ve S<sub>75</sub> sulama konularında elde edilmiş ve diğer konulardan elde edilen boğum sayısı değerleri sulama suyu düzeyi ile orantılı olarak azalmıştır (Tablo 3.3). Çalışmada rakamsal olarak bitki gövdesindeki en fazla boğum sayısı 5.60 adet/bitki ile S<sub>100</sub>G<sub>2</sub> konusundan, en az boğum sayısı ise 2.76 adet/bitki ile S<sub>0</sub>G<sub>0</sub> ve S<sub>0</sub>G<sub>1</sub> konularından elde edilmiştir. En yüksek bitki gövde çapı 6.15 mm ile S<sub>100</sub>G<sub>1</sub> konusundan, en düşük bitki gövde çapı ise 3.29 mm ile S<sub>0</sub>G<sub>0</sub> konusundan elde edilmiştir (Tablo 3.4). Bitki çapı değerleri farklı

sulama suyu düzeyi konuları arasında istatistiksel olarak önemli bulunurken, en yüksek bitki çapı değerleri tam sulama konularında saptanmış ve diğer kısıtlı ve susuz konularda ise uygulanan sulama suyu miktarına göre azalmıştır (p<0.01).

### 3.4. Bitki Gövde Çapı

Çalışmada rakamsal olarak en yüksek bitki gövde çapı 6.15 mm ile S<sub>100</sub>G<sub>1</sub> konusundan, en düşük bitki gövde çapı ise 3.29 mm ile S<sub>0</sub>G<sub>0</sub> konusundan elde edilmiştir (Tablo 3.4). Bitki çapı değerleri farklı sulama suyu düzeyi konuları arasında istatistiksel olarak önemli bulunurken, en yüksek bitki çapı değerleri tam sulama konularında saptanmış ve diğer kısıtlı ve susuz konularda ise uygulanan sulama suyu miktarına göre azalmıştır (p<0.01).

Tablo 3.3. Deneme konularına ilişkin gövdedeki boğum sayısı değerleri (adet/bitki)

Konular	S <sub>0</sub>	S <sub>25</sub>	S <sub>50</sub>	S <sub>75</sub>	S <sub>100</sub>	Ortalama
G <sub>0</sub>	2.76 ± 0.24	3.38 ± 0.18	4.51 ± 0.17	5.40 ± 0.21	5.58 ± 0.26	4.32 ± 0.31
G <sub>1</sub>	2.76 ± 0.24	3.62 ± 0.23	4.80 ± 0.10	5.18 ± 0.06	5.58 ± 0.08	4.39 ± 0.29
G <sub>2</sub>	2.84 ± 0.18	4.00 ± 0.20	4.84 ± 0.14	5.42 ± 0.18	5.60 ± 0.19	4.54 ± 0.28
Ortalama	2.79 ± 0.11 D	3.67 ± 0.14 C	4.72 ± 0.09 B	5.33 ± 0.09 A	5.59 ± 0.10 A	

Tablo 3.4. Deneme konularına ilişkin bitki gövde çapı değerleri (mm)

Konular	S <sub>0</sub>	S <sub>25</sub>	S <sub>50</sub>	S <sub>75</sub>	S <sub>100</sub>	Ortalama
G <sub>0</sub>	3.29 ± 0.01	4.68 ± 0.12	5.21 ± 0.12	5.45 ± 0.09	6.10 ± 0.04	4.95 ± 0.26
G <sub>1</sub>	3.50 ± 0.12	4.53 ± 0.12	5.07 ± 0.15	5.63 ± 0.02	6.15 ± 0.17	4.97 ± 0.25
G <sub>2</sub>	3.49 ± 0.03	4.47 ± 0.07	5.10 ± 0.07	5.87 ± 0.17	6.12 ± 0.16	5.01 ± 0.26
Ortalama	3.43 ± 0.05 E	4.56 ± 0.06 D	5.12 ± 0.06 C	5.65 ± 0.08 B	6.13 ± 0.07 A	

#### 4. Sonuç

Sera koşullarında yapılan fesleğen yetiştiriciliğinde, vejetatif gelişim parametreleri bakımından iyi sonuçların eldesi için sulamanın kaçınılmaz olduğu ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, gövde çapı değerleri dışında diğer vejetatif özellikler bakımından en yüksek değerlerin elde edildiği tam sulama konusu (S<sub>100</sub>) ile %25'lik su tasarrufunun gerçekleştiği S<sub>75</sub> su kısıtı konusu istatistiksel olarak aynı sınıfta yer almıştır. Bunun yanı sıra, her ne kadar gübre dozları arasında istatistiksel fark olmasa da vejetatif özellikler bakımından hem rakamsal olarak olumlu sonuç vermiş olması hem de daha az sulama suyunun kullanılmış olmasından dolayı çalışmada uygulanan en düşük solucan gübresi dozu olan G<sub>1</sub> (3.5 g/saksı) konusunun birlikte uygulandığı S<sub>75</sub>G<sub>1</sub> uygulaması sera koşullarında saksılarda yapılacak fesleğen yetiştiriciliği için önerilebilir.

#### Kaynakça

- Ateş, N. & Coşkan, A. (2016). Toprak Solucanı, Organik ve Mineral Gübrelili Koşullarda Mısır Bitkisi Performansını Artırdı. Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 31: 39-49.
- Balyan, S. S. & Pushpangadan, P. (1988). A study on the Taxonomical Status and Geographic Distribution of the Genus *Ocimum*. The Pafai Journal, 10(2), 13-19.
- Bekele, S. & Tilahun, K. (2007). Regulated deficit irrigation scheduling of onion in a semiarid region of Ethiopia. *Agricultural Water Management*, 89, 148-52.
- Bellitürk, K. (2018). Vermicomposting in Turkey: Challenges and Opportunities in Future. *Eurasian Journal of Forest Science*, 6 (4): 32-41.
- Borivoj, P., Dušan A., Livija, M. & Ksenija, M. (2017). Effect of Drip Irrigation on Yield, Evapotranspiration and Water Use Efficiency of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Ratarstvo i Povrtarstvo*, 54(3): 124-129. <https://doi.org/10.5937/ratpov54-14808>
- Bossuyt, H., Six, J. & Hendrix, P. F. (2005). Protection of Soil Carbon By Microaggregates within Earthworm Casts. *Soil Biol. Biochem*, 37: 251-258.
- Cabar, B. S. (2016). Farklı Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) Hatlarının Trakya Koşullarında Verim ve Kalite İle İlgili Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Ekren, S., Sönmez, Ç., Özçakal, E., Kurtaş, Y. S. K., Bayram, E. & Gürgülü, H. (2012). The Effect of Different Irrigation Water Levels on Yield and Quality Characteristics of Purple Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Agricultural Water Management*, 109, 155-161. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.03.004>
- Fereres, E. & Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 147-159.
- Geerts, S. & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*, 96, 1275-1284.
- Karaca, M., Kara, Ş. M. & Özcan, M. M. (2017). Bazı Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) Popülasyonlarının Herba Verimi ve Uçucu Yağ Oranının Belirlenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 160-169.
- Karık, Ü., Çicek, F., Oğur, E., Çınar, O. & Birol, B. (2014). Menemen Ekolojik Koşullarında Bazı Ticari ve Yerel Fesleğen (*Ocimum Basilicum* L.) Çeşitlerinin Morfolojik, Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 24 (2), 10 - 20.
- Keten, M. & Değirmenci, H. (2020). Farklı Sulama Seviyeleri Altında Yetiştirilen İkinci Ürün Silajlık Mısır ve Sorgum Bitkilerinin Yaprak Su Potansiyellerinin Karşılaştırılması. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 4(4), 865-874. [https://doi.org/10.46291/ISPECJASv\\_ol4iss4pp863-872](https://doi.org/10.46291/ISPECJASv_ol4iss4pp863-872)
- Korukçu, A. (1992). Sulamadaki Gelişmelerin Türkiye'ye Etkisi. Ankara, Toprak Su Araştırma Enstitüsü Yayınları.
- Köse, İ. (2017). Bitki Sıklığının Fesleğende (*Ocimum Basilicum* L.) Herba Verimi ve Uçucu Yağ İçeriği Üzerine Etkisi (Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Kulan, E. G. (2013). Eskişehir Koşullarında Yetiştirilen Reyhan (*Ocimum basilicum*) Bitkisinin Bazı Bitkisel Özelliklerin ve Diurnal Varyabilitesinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), <http://www.mgm.gov.tr/> (Son Erişim Tarihi: 07.05.2020)
- Moghaddam, A. M. D. (2010). Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.)'de Farklı Bitki Sıklığı ve Azot Dozlarının Verim, Verim Ögeleri, Uçucu Yağ Oranı ve Bileşenler Üzerine Etkileri (Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Omer, E. A., Said-Al Ahl, H. A. H. & Hendawy, S. F. (2008). Production, Chemical Composition and Volatileoil of Different Basil Species/Varieties Cultivated Under Egyptian Soil Salinity Conditions. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 4(4), 293-300.
- Sifola, M. I., M. & Barbieri, G. (2006). Growth, Yieldand Essential Oil Content of Three Cultivars of Basil Grown Under Different Levels of Nitrogen in The Field. *Scientia Horticulturae*, 108, 408-413. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.02.002>
- Sönmez, Ç., Soysal, A. Ö. Ş., Yıldırım, A., Berberoğlu, F. & Bayram, E. (2019). Farklı Biçim Zamanlarının Yeşil ve Mor Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) Tiplerinde Bazı Verim ve

- Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi. Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 29(1): 39-49.  
<https://doi.org/10.18615/anadolu.568803>
- Şenyiğit, U., Toprak, M. & Çoşkan, A. (2021). Farklı Sulama Suyu Düzeyleri ve Vermikompost Dozlarının Cam Sera Koşullarında Yetiştirilen Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) Bitkisinin Su Tüketimi ve Verimine Etkileri. Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi, 3(1): 37-43.  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjse/issue/63054/923392>
- Tejada, M. & González, J. L. (2009). Application of Two Vermicomposts on A Rice Crop: Effects on Soil Biological Properties and Rice Quality and Yield. Agronomy Journal, 101: 336-344.  
<https://doi.org/10.2134/agronj2008.0211>
- Telci, İ. (2005). Reyhan (*Ocimum basilicum* L.) Genotiplerinde Uygun Biçim Yüksekliklerinin Belirlenmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22 (2), 77-83.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). Senaryolara göre nüfus, 2018-2080. [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1027](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1027). (Erişim Tarihi: 19.05.2020)
- Yaldız, G., Çamlıca M., Eratalar, S. A. & Kulak, M. (2017). Farklı Dozda Kıbele Gübre Uygulamasının Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) Verimine Etkisi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(1), 363-370.  
<https://doi.org/10.21597/jist.2017127449>



# Adıyaman'da Süne (*Eurygaster* spp. (Heteroptera; Scutelleridae)'nin Ergin Parazitoit Türleri ve Parazitlenme Oranları

Mahmut İslamoğlu<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Adıyaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2835-4735), furberk@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 8 Kasım 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1020859)

**ATIF/REFERENCE:** Islamoglu, M. 20201. Adıyaman'da Süne (*Eurygaster* spp. (Heteroptera; Scutelleridae)'nin Ergin Parazitoit Türleri ve Parazitlenme Oranları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 634-639

## Öz

Süne *Eurygaster* spp. (Heteroptera; Scutelleridae) Adıyaman'da buğdayın en önemli zararlısıdır. Süne'nin doğal düşman kompleksi içerisinde yer alan Süne ergin parazitoitleri (Diptera; Tachinidae) yumurta parazitoitlerinden sonraki en önemli doğal düşmandır. Bu çalışmada, Adıyaman ilindeki buğday tarlalarında bulunan Süne ergin parazitoitleri olan Tachinid türleri ile bu türlerin parazitlenme oranları araştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, 2020 yılında Adıyaman'da erkek bireylerde %3, dişi bireylerde %5,1, 2021 yılında erkeklerde %4,3, dişilerde %7,1 oranında parazitlenme olduğu tespit edilmiştir. 2020 yılında buğday tarlalarından elde edilen parazitoitlerden %58'inin *Heliozeta helluo* (F.), %28'nin *Phasia subcoleoprata* (L.), %8'inin *Ectophasia oblonga* (R.D.) ve %6'sının *Elomyia lateralis* (Meig) olduğu saptanmıştır. 2021 yılındaki parazitoit türlerinin, %43'ü *H. helluo*, %39'u *P. subcoleoprata*, %12'si *E. oblonga* ve %6'sının *E. lateralis* olduğu saptanmıştır. Buna göre Adıyaman ilinde Süne ergin parazitoitlerinin etkinliğinin %3 ile %7,1 oranında değiştiği ve en yüksek parazitlenmenin *H. helluo* tarafından yapıldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Buğday, *Eurygaster* spp., Tachinidae, Ergin parazitoit, Biyolojik mücadele.

## Adult Parasitoid Species of Sunn Pest, *Eurygaster* spp. (Heteroptera; Scutelleridae) of Parasitization Rates in Adıyaman

### Abstract

Sunn pest *Eurygaster* spp. (Heteroptera; Scutelleridae) is the most important pest of wheat in Adıyaman. Sunn pest adult parasitoids (Diptera; Tachinidae), included in the natural enemy complex of Sunn, pest are the most important natural enemies after egg parasitoids. In this study, Tachinid species, which are Sunn pest adult parasitoids found in wheat fields in Adıyaman province, and their parasitization rates were investigated. According to the findings, parasitization rate was determined as 3% in males, 5.1% in females in Adıyaman in 2020, 4.3% in males and 7.1% in females in 2021. It was determined that 58% of the parasitoids obtained from wheat fields in 2020 were *Heliozeta helluo* (F.), 28% *Phasia subcoleoprata* (L.), 8% *Ectophasia oblonga* (RD) and 6% *Elomyia lateralis* (Meig). It was determined that the parasitoid species in 2021 were 43% *H. helluo*, 39% *P. subcoleoprata*, 12% *E. oblonga*, and 6% *E. lateralis*. Accordingly, it was determined that the effectiveness of Sunn adult parasitoids in Adıyaman varied between 3% and 7.1% and the highest parasitism was caused by *H. helluo*.

**Keywords:** Wheat, *Eurygaster* spp., Tachinidae spp., Adult Parasitoid, Biological control.

\* Sorumlu Yazar: [furberk@hotmail.com](mailto:furberk@hotmail.com)



## 1. Giriş

Buğday, insan beslenmesinde dünyada ve ülkemizde yetiştirilen en önemli kültür bitkisi olup Adıyaman'da en çok yetiştirilen ürünlerden birisidir (TÜİK, 2018). Ülkemizde ve Adıyaman'da en fazla yetiştirilen buğdayın hem kalite ve hem de kantite özelliklerini etkileyen en önemli zararlısı Süne olarak bilinen *Eurygaster* spp. (Hemiptera: Scutelleridae) türleridir. Her yıl önemli ölçüde ekonomik zarara neden olan Süne ile mücadele edilmediği takdirde zarar yüzde yüzlere kadar çıkabilmektedir (Lodos 1961; 1986; Anonim, 1995). Süne'nin doğada baskı altında tutan çok önemli doğal düşmanları bulunmaktadır. Bu doğal düşmanlar arasında en önemli etmen hiç şüphesiz yumurta parazitoitleri *Trissolcus* spp'dir (İslamoğlu ve ark. 2008; İslamoğlu ve ark 2011). Ancak bunun yanında Süne'nin doğada çoğalmasını önleyen ve onları Ekonomik Zarar Eşiği altında kalmasında büyük payları olan başka doğal düşmanlarında bulunduğu bilinmektedir (Rosca ve ark, 1996; İslamoğlu, 2011). Bu düşmanlar arasında ülkemizin bazı alanlarda oldukça etkin olan Diptera Takımının Tachinidae familyası bireyleri olan Süne ergin parazitoitleridir (Rosca ve ark., 1996). Ülkemizde birçok alanda gerek yumurta parazitoitleri ve gerekse de ergin parazitoitler sayesinde Süne ile kimyasal mücadeleye gerek duyulmamaktadır.

Ülkemizde ve bölgemizde Süneye karşı uzun yıllar kimyasal mücadele uygulamaları nedeni ile doğal düşmanların zarar görmesi sonucu, Süne'nin zarar yaptığı alanlar yıllar geçtikçe artmış ve artmaya devam etmektedir. Süne ergin parazitoitlerinin kimyasal ilaç uygulamalarından olumsuz etkilendiği belirlenmiştir (İslamoğlu ve Kornoşor 2008). Adıyaman ilinde de oldukça yaygın ve etkin olan Süne ergin parazitoitlerinin türlerinin ve etkinliğinin belirlenmesi bu doğal düşmanların korunması için oldukça önem arz etmektedir.

Bu çalışmada buğdayın en önemli zararlısı olan Süne'nin doğal düşman kompleksi içerisinde yer alan Süne Ergin parazitoitlerinin (Diptera; Tachinidae) Adıyaman ilindeki türleri ve bu türlerin parazitlenme oranları araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Adıyaman ilinde buğdayın ana zararlısı Süne'nin ergin parazitoitlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışma, 2020 ve 2021 yıllarında Merkez, Besni Kahta ve Samsat ilçeleri buğday tarlalarında yürütülmüştür.

Süne ergin parazitoit türlerinin belirlenmesi için kışlak inişlerinin tamamlanmasından sonra, Merkez, Besni Kahta ve Samsat ilçeleri buğday tarlalarından, her tarladan her tekerrürde 25 olmak üzere toplam dört tekerrürde 100 adet erkek ve dişi Süne toplanılmıştır. Toplanan Süneler laboratuvara getirilerek cinsiyetlerine göre ayrı ayrı 25'li gruplara ayrılarak plastik kavanozlarda buğday bitkisi ile kültüre alınmışlardır. Bu plastik kavanozlar gün aşırı kontrol edilerek besini değiştirilmiş ve kavanoz tabanına düşen Tachinidae pupaları toplanmıştır. Toplanan parazitoit pupaları ıslatılmış pamuk olan petrilere alınarak, inkubatörde 26±1 °C'de erginler çıkıncaya kadar bekletilmiş ve erginlerin çıkması sağlanmıştır. Çıkan erginler kaydedilip etiketlenerek teşhisleri yapılmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### a- Süne Ergin Parazitoitlerinin Etkinliğinin Belirlenmesi

Adıyaman'ın Merkez (Lokman ve Bağpınar), Besni (Şambayat), Kahta (Ortanca ve Dut) ve Samsat (Taşkuyu) ilçelerinde 2020 yılında Süne erginlerinden elde edilen parazitoit türleri ve oranları Şekil 1'de verilmiştir.

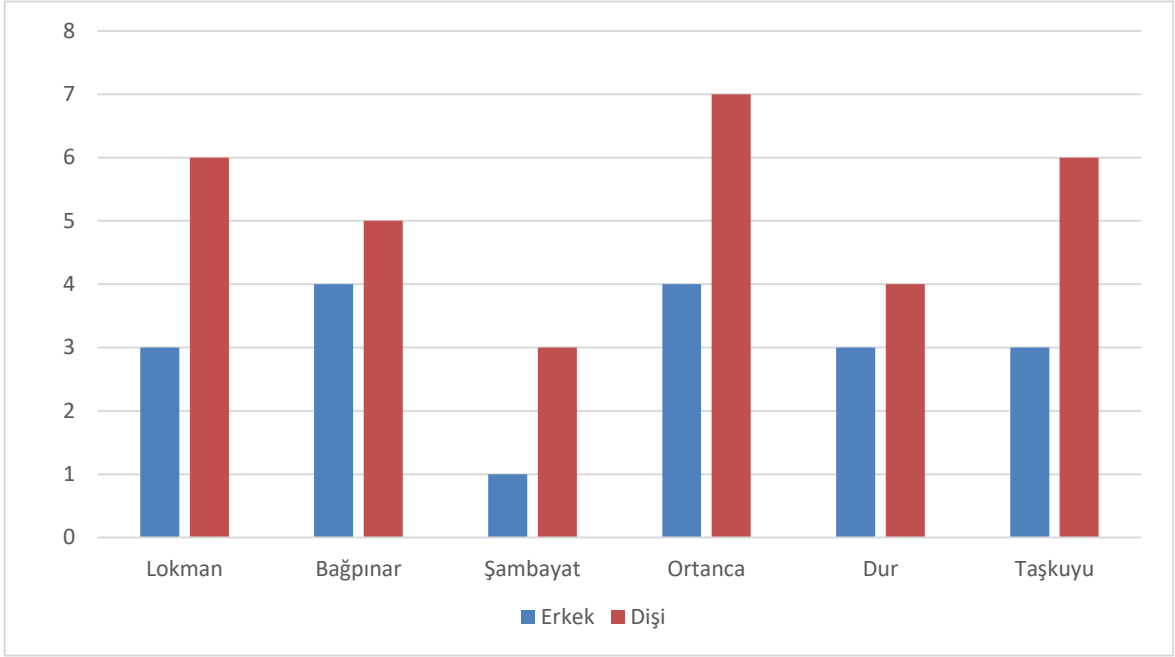
2020 yılında Adıyaman Merkez Lokman köyünde yapılan çalışmalarda, toplam 9 parazitoit elde edilmiştir. Buna göre, erkek bireylerdeki parazitlenme oranı %3, dişi bireylerdeki parazitlenme oranının ise %6 olduğu tespit edilmiştir. Merkez Bağpınar köyünde toplanan 100 erkek bireyden 4'ünün, 100 dişi bireyden ise 5'inin parazitli olduğu belirlenmiştir. Buna göre parazitlenme oranlarının sırasıyla %4 ve %5 olduğu tespit edilmiştir. Besni ilçesi Şambayat köyünde yapılan çalışmalarda erkek bireylerde sadece bir bireyde parazitlenme görülürken dişi bireylerde ise 3 bireyde parazitlenme görülmüştür. Buradaki parazitlenme oranının erkeklerde %1, dişilerde ise %3 olduğu tespit edilmiştir. Kahta ilçesinde Ortanca ve Dut köylerinde yapılan çalışmalarda en yüksek parazitlenme oranı %7 ile Ortancada toplanan dişi bireylerde olduğu tespit edilmiştir. Ortanca köyünde erkek bireylerinde ve Dut köyünde dişi bireylerdeki parazitlenme oranı ise %4 olduğu, en düşük parazitlenmenin ise %3 ile Dut köyünde toplanan erkek bireylerde olduğu tespit edilmiştir. Samsat ilçesi Taşkuyu köyünde erkek bireylerdeki parazitlenme oranının %3, dişi bireylerdeki parazitlenme oranı ise %6 olduğu saptanmıştır (Şekil 1).

Adıyaman Merkez, Besni, Kahta ve Samsat ilçeleri 2021 yıllarında Süne erginlerinden elde edilen parazitoit etki oranları Şekil 2'de verilmiştir.

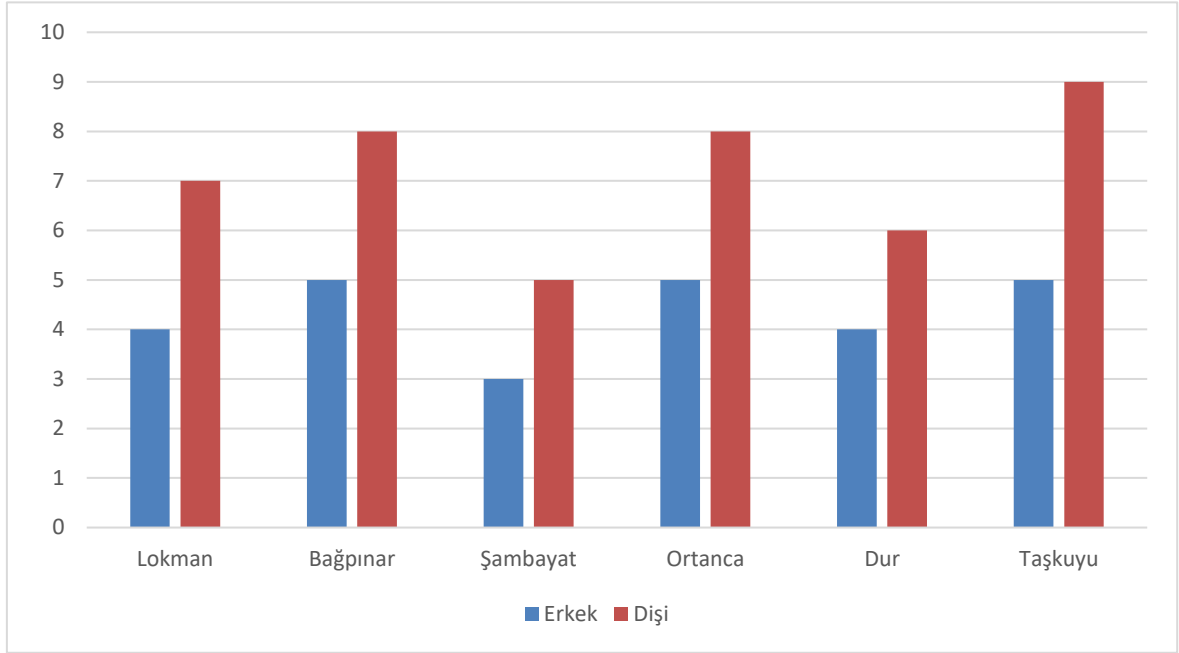
2021 yılında Adıyaman'ın Merkez Lokman köyünde yapılan çalışmalarda, Adıyaman Merkez ilçesinde Lokman ve Bağpınar köylerinde yapılan çalışmalarda en yüksek parazitlenmenin %8 ile Bağpınar köyünde toplanan dişi bireylerde olduğu tespit edilmiştir. Lokman köyünde toplanan dişi bireylerindeki parazitlenme oranı ise %7 olduğu, en düşük parazitlenmenin ise %4 ile Lokman köyünde toplanan erkek bireylerde olduğu tespit edilmiştir. Bağpınar köyünden toplanan erkek bireylerde ise parazitlenme oranının %5 olduğu saptanmıştır. Besni ilçesi Şambayat köyünden toplanan 100 erkek bireyden 3, 100 dişi bireyden ise 5 bireyin parazitli olduğu tespit edilmiştir. Buna göre erkek ve dişilerdeki parazitlenme oranlarının sırasıyla %3 ve %5 olduğu tespit edilmiştir. Adıyaman Kahta Ortanca köyünde yapılan çalışmalarda, erkek bireylerdeki parazitlenme oranının %5, dişi bireylerdeki parazitlenme oranının ise %8 olduğu tespit edilmiştir. Dut köyünde toplanan 100 erkek bireyden 4'ünün, 100 dişi bireyden ise 6'sının parazitli olduğu belirlenmiştir. Buna göre Dut köyündeki parazitlenme oranlarının sırasıyla %4 ve %5 olduğu tespit edilmiştir. Samsat ilçesi Taşkuyu köyünde erkek bireylerdeki parazitlenme oranının %5, dişi bireylerdeki parazitlenme oranının ise %9 olduğu saptanmıştır (Şekil 2).

2020 yılı çalışmalarında Süne ergin parazitoitlerinin etkinliği %1 ile %7 arasında değişirken, 2021 yılında bu oranların %3 ile %9 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Erkek bireylerdeki parazitlenme oranı 2020 yılında %3, 2021 yılında ise 4,3 oranında olduğu belirlenmiştir. Erkek bireylerdeki her iki yılın ortalaması ise %3,65 olduğu belirlenmiştir. Dişi bireylerdeki parazitlenme oranı 2020 yılında %5,16, 2021 yılında ise %7,16 oranında olduğu tespit edilmiştir. 2020 ve 2021 yıllarında ortalama dişi bireydeki

parazitlenme ise %6.16 olduğu belirlenmiştir. Her iki yılda da erkek bireylerdeki parazitlenme oranları dişi bireylere oranla nispeten daha düşük olduğu gözlenmiştir.



Şekil 1: Adıyaman Merkez, Besni, Kahta ve Samsat ilçelerinde 2020 yılında Süne 'nin parazitlenme oranları



Şekil 2: Adıyaman Merkez, Besni, Kahta ve Samsat ilçelerinde 2021 yılında Süne 'nin parazitlenme oranları

#### b- Süne Ergin Parazitoit Türlerinin Belirlenmesi

Adıyaman Merkez, Besni, Kahta ve Samsat ilçeleri 2020 yılında Süne yumurtalarından elde edilen parazitoit türleri ve oranları Şekil 3'de verilmiştir.

Şekil 3 incelendiğinde; Lokman köyünden elde edilen parazitoidlerde en yüksek tür %67 ile *Heliozeta helluo* (F.) (Diptera: Tachinidae) olduğu belirlenmiştir. Bunu %22 ile *Phasia subcoleoprata* (L.) (Diptera: Tachinidae), %11 ile *Ectophasia*

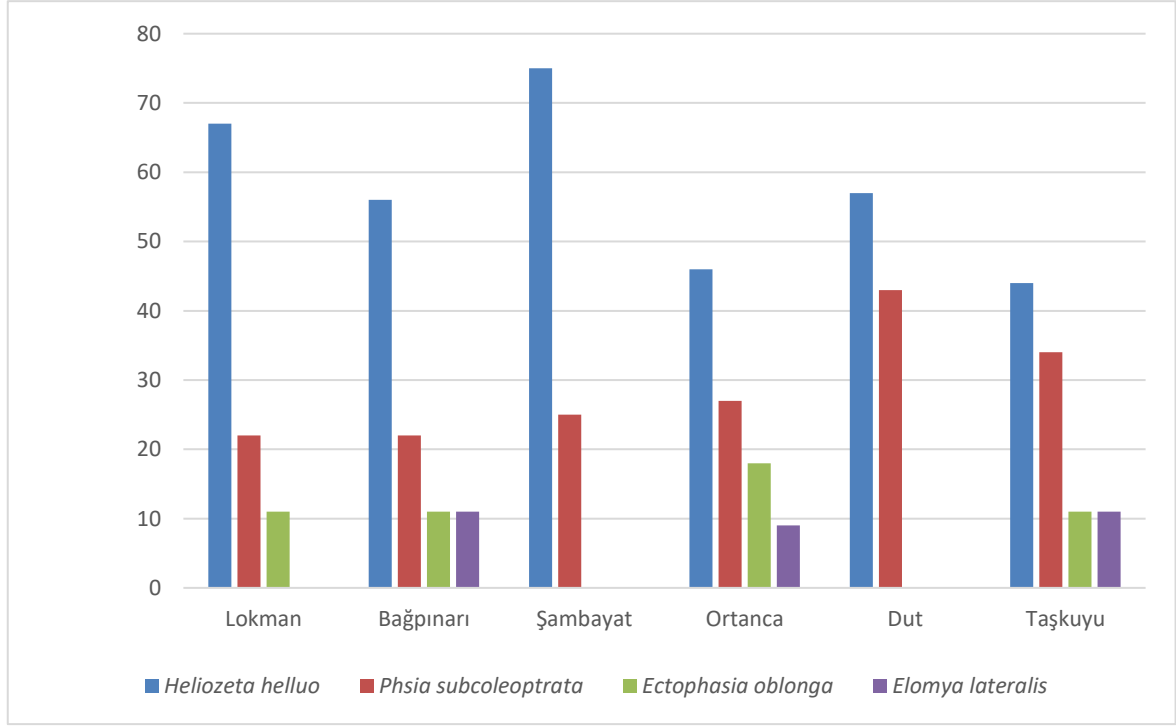
*oblonga* (R.D.) (Diptera: Tachinidae) takip ettiği belirlenmiştir. Merkez Bağpınar köyünden 4 farklı parazitoit türü elde edilmiştir. Bu parazitoitlerin %56'sının *H. helluo*, %22'unun *P. subcoleoprata*, %11'inin ise, *Elomyia lateralis* (Meig) (Diptera: Tachinidae) ve *E. oblonga* olduğu saptanmıştır. Besni ilçesi Şambayat köyünden elde edilen toplam 4 parazitoid pupası elde edilmiştir. Bu pupaların %75'sinin *H. helluo*, %25'nin ise *P. subcoleoprata* olduğu tespit edilmiştir. Kahta ilçesinin Ortanca köyünde yapılan çalışmalarda elde edilen parazitoit türlerinin

%46'sının *H. helluo*, %27'sinin *P. subcoleoprata*, %18'sinin *E. oblonga*, %9'unun ise *E. lateralis* olduğu saptanmıştır.

Kahta ilçesi Dut köyünden iki parazitoit türü elde edilmiştir. Bunlardan birincisi *H. helluo*'nun parazitlenme oranı %57, *P. subcoleoprata*'nın parazitlenme oranı ise %43 olduğu tespit edilmiştir. Samsat ilçesi Taşkuyu köyündeki 4 tür parazitoit elde edilmiştir. Bunlardan *H. helluo* %44, *P. subcoleoprata* %34, *E. oblonga* ve *E. lateralis*'in ise, %15 oranında bulunduğu belirlenmiştir.

Adıyaman ilinde genel olarak buğday tarlalarından 2020 yılında toplam 49 adet Tachinidae parazitoit elde edilmiştir.

Bunun %57'sinin *H. helluo* tarafından oluşturulduğu belirlenmiştir. *P. subcoleoprata*'nın parazitlenme oranı %29, *E. oblonga*'nın ise, %9, *E. lateralis*'in parazitlenme oranının %5, olduğu tespit edilmiştir. Adıyaman ilinde 2020 yılında buğday tarlalarında en yüksek parazitlenme *H. helluo* tarafından oluşturulmuş bunu *P. subcoleoprata*'nın izlediği, *E. oblonga* ve *E. lateralis*'in parazitlenme oranının nispeten düşük kaldığı görülmüştür.



Şekil 3: Adıyaman Merkez, Besni, Kahta ve Samsat ilçelerinde 2020 yılında Süne erginlerinden elde edilen parazitoit türleri ve oranları

Adıyaman Merkez, Besni, Kahta ve Samsat ilçeleri 2020 yılında Süne erginlerinden elde edilen parazitoit türleri ve oranları Şekil 4'de verilmiştir.

Şekil 4 incelendiğinde; 2021 yılında Lokman köyünde üç farklı Tachinidae parazitoit türü elde edilmiştir. Bu parazitoitlerden en yüksek bulunma oranı %45 ile *H. helluo* ve *P. subcoleoprata* olduğu saptanmıştır. Ayrıca %10 oranında da *E. oblonga*, bulunduğu belirlenmiştir.

Bağpınar köyünde en yüksek Tachinidae bulunma oranı, %46 oranı ile *H. helluo* olduğu saptanmıştır. Bunu %31 oranı ile *P. subcoleoprata*, %15 oranı ile *E. oblonga* izlediği belirlenmiştir. Bağpınar köyünde en düşük parazitoit türünün %8 ile *E. lateralis*'in oluşturduğu belirlenmiştir. Şambayat köyünde 8 adet parazitoit elde edilmiştir. Bunun %50'sini *H. helluo*, %38'sini *P. subcoleoprata*, %12'nin ise, *E. oblonga* olduğu belirlenmiştir. Kahta ilçesi Ortanca köyünde yapılan çalışmalarda 4 farklı Tachinidae türü tespit edilmiştir. Bunlardan *H. helluo* %31, *P. subcoleoprata* %46 oranında elde edilirken, *E. oblonga* %15 ve *E. lateralis*'in %8 oranında bulunduğu tespit edilmiştir. Dut köyünde %50 *H. helluo*, %40 *P. subcoleoprata* ve %10 *E. oblonga* oranında bulunduğu saptanmıştır. Samsat ilçesi Taşkuyu

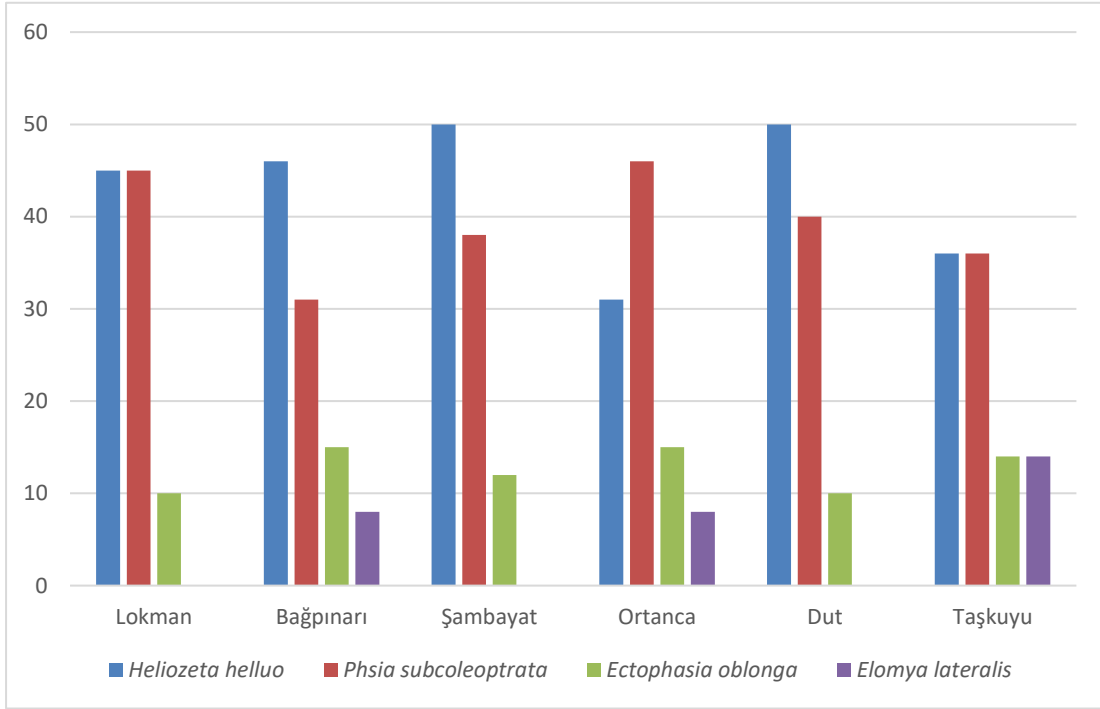
köyünde ise, en yüksek parazitlenmeyi %36 oranı *H. helluo*, ve %40 *P. subcoleoprata* yaptığı bunu %14 oranı ile *E. oblonga* ve *E. lateralis*'in izlediği tespit edilmiştir (Şekil 4).

Adıyaman ilinde yapılan 2021 yılı çalışmalarında 69 adet tachinidae endoparaziti elde edilmiştir. Bunun %42'sinin *H. helluo*, %40'unun *P. subcoleoprata*, %13'ünün *E. oblonga*, %5'sinin ise, *E. lateralis*'in oluşturduğu belirlenmiştir. 2021 yılı çalışmalarında, 2020 yılında olduğu gibi en yüksek parazitlenme *H. helluo* ve *P. subcoleoprata* tarafından gerçekleştirilmiştir.

#### 4. Sonuç

Adıyaman ilinde yapılan iki yıllık çalışmalardan elde edilen verilerin birlikte değerlendirildiğinde; Adıyaman ilinde *H. helluo*, *P. subcoleoprata*, *E. oblonga* ve *E. lateralis* olmak üzere 4 parazitoit türünün bulunduğu belirlenmiştir. Bu türlerden Adıyaman ilinde en yaygın türün *H. helluo* olduğu saptanmıştır. Bu türün her iki yılda da sörvey yapılan bütün ilçelerde bulunduğu belirlenmiştir. Adıyaman ilinde sörvey yapılan ilçelerin büyük kısmında görülen *P. subcoleoprata*'nın ikinci yaygın tür olarak tespit edilmiştir. Süne ergin parazitoitlerinin yaygınlık bakımından en az bulunan türleri ise *E. oblonga* ve *E. lateralis*

olduğu saptanmıştır. He iki tür de Adıyaman ilinde bulunmasına rağmen fazla etkin olmadıkları tespit edilmiştir.



Şekil 4: Adıyaman Merkez, Besni, Kahta ve Samsat ilçelerinde 2021 yılında Süne erginlerinden elde edilen parazitoit türleri ve oranları

Ülkemizde ve yurtdışında yapılan çalışmalarda da benzer sonuçları görmek mümkündür. Nitekim; Yunanistan'da Viotia ve Atina bölgelerinde buğdayın ana zararlıları olan Kimil ve Süne'nin ergin parazitoitlerinden olan Tachinidler tarafından %18-53 arasında parazitlendiği bildirilmiştir (Stavraki, 1977). Bulgaristan'da 1978-1980 yılları arasında yapılan bir çalışmada, Tachinid parazitoitlerinin Süne türlerini parazitlediği bildirilmiştir. Ayrıca *H. helluo* ve *E. oblonga*'nın Bulgaristan faunasında Süne ergin parazitoiti olarak ilk kez tespit edildiği bildirilmiştir (Khubenov 1983). Ülkemizde yapılan bir çalışmada ise Süne ergin parazitoitlerinden *P. subcoleoprata*'nın Adana, Gaziantep, Hatay, Antalya, Kahramanmaraş'ta, *H. helluo*'nun ise Gaziantep, İçel ve Kahramanmaraş'ta yaygın türler olduğunu belirtmişlerdir (Şimşek ve ark. 1994). Kıvan (1996), ise, Tekirdağ ili buğday ekiliş alanlarında, *E. oblonga*, *E. lateralis*, *H. helluo* ve *P. subcoleoprata* olmak üzere 4 tür belirlendiğini, bunlardan 1994 yılında *H. helluo*, 1995 yılında ise *P. subcoleoprata*'nın yaygın tür olduğunu bildirmiştir. İran'ın Karaj bölgesinde 1988-1990 yılları arasında yaptığı çalışmada, *H. helluo*, *P. subcoleoprata*, *E. crassipennis* ve *E. lateralis* olmak üzere 4 Tachinidae türü tespit edildiğini bildirmiştir (Maafi 2001). Ülkemizde yapılan diğer bir çalışmada ise, Gaziantep ve Kilis ili buğday tarlalarında *H. helluo*, *P. subcoleoprata*, *E. oblonga* ve *E. lateralis* bulunduğunu, bunlardan *H. helluo*'nun hâkim tür olduğunu belirtmişlerdir. Gaziantep ilinde ortalama parazitlenme oranını %10,13 Kilis ilinde ise, %17,75 olarak bulmuşlardır (İslamoğlu ve Kornoşor; 2003).

Sonuç olarak; Adıyaman ilinde Süneyi baskı altında tutan Süne ergin parazitotlerinin, Sünenin doğal düşman kompleksi

içerisinde etkin olarak yer aldığı belirlenmiştir. Süne mücadelesinde bu doğal düşmanların korunması azami özen gösterilmeli, insektisit kullanım zorunluluğunda bu doğal düşmanların en az zarar göreceği dönemler tercih edilmelidir.

## 5. Teşekkür

Araştırmanın arazi çalışmalarında yardımcılarından dolayı Gıda Mühendisi Ahmet Furkan İSLAMOĞLU ve Muhammed Berkan İSLAMOĞLU'na, Tachinid parazitoitlerinin teşhislerinde yardımlarını gördüğüm Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Kenan KARA'ya teşekkür ederim.

## Kaynakça

- Anonymous, (1995). *Zirai Mücadele Teknik Talimatları*, Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Ankara, Cilt 1, 291 s.
- İslamoğlu, M. (2011). Mass Rearing and Release of the Egg Parasitoid, *Trissolcus semistriatus* Nees. (Hymenoptera: Scelionidae), a Biological Control Agent of the Sunn Pest, *Eurygaster integriceps* Put. (Heteroptera: Scutelleridae) in Turkey. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 21(2), 131-136
- İslamoğlu, M., Kornoşor S. (2008). Süne Ergin Parazitoitleri (Diptera Tachinidae'nin Erkek ve Dişi Süne (*Eurygaster Integriceps* Put.)'lerde Parazitlenme Oranı ile Süne Mücadelesinde Kullanılan Bazı İsektisitlerin Ergin



- Parazitoitlerine Etkisinin Belirlenmesi. *Ç.Ü. Ziraat Fak. Dergisi* 22 (2):13 -20
- İslamoğlu, M., Kornoşor S. ve Tarla Ş. (2008). Süne Yumurta Parazitoiti *Trissolcus semistriatus* Nees (Hymenoptera: Scelionidae)'un Kitle Üretimi ve Salım Alanlarında Etkinliğinin Belirlenmesi. *Ülkesel Tahıl Sempozyumu*. 2-5 Haziran 2008 Konya
- İslamoğlu, M., Kornoşor, S. (2003). Gaziantep – Kilis illerinde kışlak ve buğday tarlalarındaki süne ergin parazitoidleri (Diptera, Tachinidae) üzerinde araştırmalar. *Bitki Koruma Bülteni*, 43 (1-4), 99-110.
- Khubenov, Z.K. (1983). Study on the role some species of the family Tachinidae (Diptera) in limiting the abundance of harmful bugs of the genus *Eurygaster* spp. (Heteroptera, Scutelleridae) Abs. (*Rev. Appl. Ent.*, 1983, 71 (8): 644.
- Kıvan, M. (1996) Research on the endoparasitoids of *Eurygaster integriceps* Put, (Heteroptera: Scutelleridae) and their evectiveness in Tekirdag (Turkey) province. *Türk Entomol Derg.* 20:211–216
- Lodos, N. (1961). Türkiye, Irak, İran ve Suriye'de Süne (*Eurygaster integriceps* Put.) Problemi Üzerine Araştırmalar. *Ege Üni. Ziraat Fakültesi Yayınları*, Ege Üni. Matbası, No: 51,115 s.
- Lodos, N. (1986). Türkiye Entomolojisi II. Genel Uygulamalı ve Faunistik. Ege Üniversitesi Bitki Koruma Bölümü, Ege Üni. Matbaası, İzmir, 580 s.
- Maafi, M. A. (1991), An Investigation for Identifying and Efficiency of Parasitoid Flies of Cereal Sunn Pest (*Eurygaster integriceps* Puton) in Karaj, Iran [www.icarda.com/](http://www.icarda.com/)
- Rosca, I. Popov, C. Barbulescu, A. Vonica, I. and Fabritus, K. (1996). The Role of Natural Parasitoids in Limiting the Level of Sunn Pest Populations. In Sunn Pests and Their Control in the Near East (Eds Miller, R. H. Morse, J. G.). FAO, PPP Paper, 138: 35- 46. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Italy.
- Stavraki, H. G. (1977). Pentatomidae cereal pests in Greece.Abs. (*Rev. Appl. Ent.*, 1978, 66 (10): 609).
- Şimşek, N. Güllü, M. ve Yaşarbaş, M. (1994). Akdeniz Bölgesinde Süne (*Eurygaster integriceps* Put.)'nin Doğal Düşmanları ve Etkinlikleri Üzerinde Araştırmalar. *Türkiye III. Biy. Müc. Kong. Bild.* 25-28 Ocak 1994 İzmir.
- TÜİK,: 2018 Türkiye İstatistik Kurumu Bitkisel Üretim İstatistikleri, <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> Erişim Tarihi (16.07.2018).



# Türkiye ve Avrupa Birliği'nde Ayçiçek Yağının Gıda Güvencesi ve Kendine Yeterlilik Açısından Değerlendirilmesi

Bahar Can Aydın<sup>1</sup>, Oktay Tomar<sup>2\*</sup>, Alptekin Mert Yılmaz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kocaeli Üniversitesi, İzmit Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1096-7875), [baharcan@kocaeli.edu.tr](mailto:baharcan@kocaeli.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Kocaeli Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5761-7157), [oktay.tomar@kocaeli.edu.tr](mailto:oktay.tomar@kocaeli.edu.tr)

<sup>3</sup> Kocaeli Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7062-4770), [alptekin.yilmaz@kocaeli.edu.tr](mailto:alptekin.yilmaz@kocaeli.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 11 Kasım 2021 ve Kabul Tarihi 12 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1022089)

**ATIF/REFERENCE:** Can, B.A., Tomar, O., Yılmaz, A.M. (2021). Türkiye ve Avrupa Birliği'nde Ayçiçek Yağının Gıda Güvencesi ve Kendine Yeterlilik Açısından Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 640-654.

## Öz

Yağlı tohumlu bitkiler arasında yer alan ayçiçeğinden, yağ, küspe ve biyodizel üretilmektedir. Dünya yağlı tohum üretiminde üçüncü sırada olan ayçiçeği, Türkiye'de en fazla ekim alanına ve üretim miktarına sahip yağ bitkisi olup, Türkiye'nin bitkisel yağ ihtiyacının %50'sini karşılamaktadır. İnsan beslenmesinde önemli yeri olan ayçiçeğine olan talep, artan dünya nüfusu ve son yıllarda yaşanan küresel salgının etkisiyle hızla artmakta ve bu durum üretimde kendine yeterli olmayan dünya ülkelerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle gıda güvencesi ve kendine yeterlilik kavramları, ülkeler açısından ön plana çıkmaktadır. Çalışmanın amacı, Türkiye ve Avrupa Birliği (AB)'ndeki ayçiçek yağı üretimini gıda güvencesi ve kendine yeterlilik açısından değerlendirmek ve ortaya çıkan sorunlara çözüm önerileri getirmektir. Bu kapsamda, dünya, Türkiye ve AB'de ayçiçek yağının üretim, ithalat, ihracat, tüketim ve kendine yeterlilik düzeyi bakımından istatistiksel verilerle incelenmesi ve gıda güvencesi durumunun ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışmanın ana materyalini, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Müdürlüğü (TEPGE), Uluslararası Gıda Politikası Araştırma Enstitüsü (IFPRI)'den elde edilen veriler ile konuyla ilgili kaynak ve raporlar oluşturmaktadır. Çalışmada istatistiksel veriler değerlendirilirken 2004/05-2018/19 üretim dönemleri arasındaki 15 dönem esas alınmıştır. 2018 yılı dünya ayçiçek yağı üretiminin %80.83'ü Ukrayna (5148606 ton), Rusya Federasyonu (4642815 ton), AB (28) (8783416 ton) ve Arjantin (1304700 ton) tarafından karşılanmaktadır. Türkiye, dünya ayçiçek yağı üretiminde %7.1'lik paya sahiptir. 2019/2020 üretim döneminde dünya ayçiçek yağı ithalatının %35.4'ü, ayçiçeği tohumu ithalatının %77.3'ü Türkiye ve AB (28) tarafından gerçekleştirilmiştir. Türkiye'de ayçiçek yağı üretim miktarı, tüketimi karşılayamadığı için tüketim açığının ithalat yoluyla karşılanması en önemli sorundur. Gıda güvencesinin önemli bir göstergesi olan kendine yeterlilik bakımından, stratejik öneme sahip yağlık ayçiçeğinin üretiminin artırılarak sürdürülebilirliğinin sağlanması için gerekli tedbirler alınmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Gıda güvencesi, kendine yeterlilik, ayçiçek yağı, Avrupa Birliği, Türkiye.

## Evaluation of Sunflower Oil in Terms of Food Security and Self-Sufficiency in Turkey and European Union

### Abstract

Oil, pulp, and biodiesel are produced from sunflower, which is among the oilseed plants. Sunflower, which ranks third in world oilseed production, is the oil plant with the largest cultivation area and production amount in Turkey and meets 50% of Turkey's vegetable oil need. The demand for sunflower, which has an important place in human nutrition, is increasing rapidly with the effect of the increasing world population and the pandemic experienced in recent years, and this situation negatively affects the world countries that are not self-sufficient in production. For this reason, the concepts of food security and self-sufficiency come to the fore in terms of countries. The aim of the study is to evaluate sunflower oil production in Turkey and the European Union (EU) in terms of food security and self-sufficiency and to offer solutions to the emerging problems. In this context, it is aimed to examine the sunflower oil production, import, export, consumption, and self-sufficiency level with statistical data in the world, Turkey, and the EU and to reveal the food security situation. The main material of the study is the information, related resources, and data obtained from the Turkish Statistical Institute (TUIK), United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), Agricultural Economy and Policy Development Institute (TEPGE), International Food Policy Research Institute (IFPRI). While evaluating the statistical data in the study, the 15 years between 2004/05-2018/19 production periods were taken as a basis. 80.83% of world sunflower oil production in 2018 is met by Ukraine (5148606 tons), Russia Federation (4642815 tons), EU (28) (8783416 tons), and Argentina (1304700 tons).

\* Sorumlu Yazar: [oktay.tomar@kocaeli.edu.tr](mailto:oktay.tomar@kocaeli.edu.tr)

Turkey has a share of 7.1% of world sunflower oil production. In the 2019/2020 production period, 35.4% of world sunflower oil imports and 77.3% of sunflower seed imports were realized by Turkey and the EU (28). Since the amount of sunflower oil production in Turkey cannot meet the consumption, meeting the consumption deficit through imports is the most important problem. In terms of self-sufficiency, which is an important indicator of food security, necessary measures should be taken to increase the production of strategically important sunflower oil and to ensure its sustainability.

**Keywords:** Food security, self-sufficiency, sunflower oil, European Union, Turkey.

## 1. Giriş

Bitkisel yağlar, insanların sağlıklı beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Artan dünya nüfusuna bağlı olarak gıda ürünleri ve bitkisel yağ tüketimi artmaktadır. Türkiye’de de bitkisel yağlara olan talep, nüfus artışının etkisiyle artış göstermektedir (Yılmaz ve ark., 2021). Ayçiçek yağı üretimi 18.4 milyon ton ile dünya bitkisel yağ üretiminde palmye, soya ve kolzadan sonra dördüncü sırada yer almaktadır (FAO, 2018). Ayçiçek yağının linoleik asit yüzdesinin diğer tüm yağlı tohum bitkilerinden yüksek olması nedeniyle, kalitesi diğerlerinden daha iyi olmaktadır (Kaya, 2016). Yağ içeriğinin ortalama %90’ı doymamış yağ asitlerinden, %10’luk kısmı doymuş yağ asitlerinden oluşmaktadır (Khan ve ark., 2015). Sağlıklı beslenme için doymuş yağ tüketiminin azaltılması tavsiye edilmektedir (Eğritaş, 2020). Tüketicilerin de bilinçlenmesinin etkisiyle bitkisel sıvı yağlara olan talep her geçen gün artmaktadır.

Yağlı tohumlu bitkiler; besin, yem ve hammadde sağladıkları için ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan önemlidir (Popescu, 2020). Yağlı tohumlu bitkilerin üretiminde dünya çapında artış vardır (Soare ve Chiurciu, 2018). Yağlı tohumlu bitkilerin üretim alanlarındaki artışta gıda talebinin dışında, biyodizel talebindeki artış da etkili olmaktadır. Ayçiçeği gibi birçok ürün hem gıda hem de biyoenerji üretimi için kullanılabilir. Son yıllarda giderek artan ve az gelişmiş ülkelerde büyük sorun oluşturabilecek küresel gıda ihtiyacı dikkate alındığında, yağlı tohum üretiminin yakıt amacıyla kullanımı tarım sektörünü olumsuz yönde etkileyeceği dile getirilmektedir (TCTB, 2020). Artan yakıt talebinin karşılanmasında bitkisel yağların kullanımından elde edilen biyoyakıt üretimi, yerel gıda güvencesini olumsuz etkileyerek, yoksul toplumlar için açlığa neden olabilecektir (Hoffman ve ark., 2015).

Ayçiçeği tohumu %48-50 yağ, %16-19 protein içerir ve endüstriyel işlemede yağ verimi yaklaşık %50’ye ulaşmaktadır. Ayçiçek yağı gıda üretiminde (margarin, konserve, ekmek, şekerleme), sabun, boya ve diğer sektörlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Kuts ve Makarchuk, 2021). Ayrıca hayvancılık sektöründe ayçiçeği küspesi hayvan yemi olarak da kullanılmaktadır (Barghash ve ark., 2014). Türkiye’deki ekim alanı, üretim ve tüketim verilerine bakıldığında yağlı tohumlu bitkiler içinde bulunan ayçiçeğinin %70 gibi yüksek bir oran ile ilk sırada yer aldığı görülmektedir (Taşkaya ve Uçurum, 2012; TÜİK, 2020).

Türkiye iklim özellikleri bakımından yağ bitkilerinin yetiştirilmesinde avantajlı bir durumda olmasına rağmen, bitkisel yağ üretimi yurtiçi tüketimini karşılamamaktadır (Gündüz, 2021). Ayçiçek yağı üretimi, tüketimi karşılayacak düzeyde olmadığı için, talebin önemli bir kısmı ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Türkiye’de ayçiçeği üretimi daha çok sulama yapılmayan alanlarda yapıldığından, çevre koşullarından fazlaca etkilenmektedir (Kaya, 2016). Buna bağlı olarak son yıllarda üretim kuraklıktan fazla etkilendiği için, üretimde ülke ihtiyacını karşılayabilecek seviyelere henüz ulaşamamıştır. Türkiye’de ayçiçeği yetiştiriciliğine yönelik destekler son yıllarda artış

eğiliminde olmasına rağmen üretim iç tüketimi karşılayamadığından Türkiye’nin ayçiçeğinde ithalatçı konununun yakın gelecekte de devam edeceği düşünülmektedir (Berk, 2017). Türkiye, ayçiçeği yağı üretiminde kullandığı hammadde bakımından net ithalatçı konumunda olduğundan dolayı yurtdışı üretim miktarından ve yurtdışı ayçiçeği fiyatlarından büyük oranda etkilenmektedir (Gündüz, 2021). Türkiye’de ayçiçeği tohumu ithalatındaki %27 olan gümrük vergisi oranı, yapılan mevzuat düzenlemesi ile 31 Mayıs 2020 tarihine kadar %9, 1-30 Haziran 2020 tarihleri arasında %13 olarak uygulanmıştır. 25 Kasım 2020 tarihinde resmi gazetede yayımlanan karar ile ham ayçiçek yağı ithalatında alınan %36 gümrük vergisi %3’e, ton başına alınan 280 Euro olan Toplu Konut Fonu ödemesi 60 Euro’ya düşürülmüştür (TEPGE, 2021). Son yıllarda ayçiçek yağında yapılan gümrük vergilerindeki düşüşler, yağ açığımızın daha çok ithalat yoluyla karşılanmasında etken oluşturmaktadır. Türkiye ayçiçek yağı ithalatında AB’den sonra ikinci sırada gelmektedir.

Dünya’da 2018/19 üretim döneminde 26801164 hektar alanda ayçiçeği tohumu ekimi yapılmış ve 1.9 ton/ha verim alınmıştır. Aynı üretim döneminde bir önceki üretim dönemine oranla ekilen alanda %0.2’lik düşüş, verimde ise %6.9’luk artış gerçekleşmiştir. Aynı dönem dünyada gerçekleşen 18409217 ton ayçiçek yağı üretiminin %27,9’u Ukrayna ve %25,2’si Rusya Federasyonu tarafından gerçekleştirilmiştir (FAO, 2019). Ayçiçeği, kanola ve soya fasulyesi ile karşılaştırıldığında, yüksek verimli bir yağlı tohum değildir. Bununla birlikte sadece Rusya Federasyonu ve Ukrayna gibi üretimde önde gelen üretici ülkeler verim açığının kapatılmasında büyük potansiyele sahiptir (Fischer ve ark., 2014).

2018/19 üretim döneminde dünya ayçiçeği yağı üretiminde AB (28) 3783416 ton ayçiçeği yağı üretimiyle %20.6’lık pay oluşturmuştur. Ayçiçeği yetiştiriciliğinde Romanya, ekili alan ve toplam üretim bakımından gelişen ülkeler arasında önemli yere sahiptir (Csep, 2018). Ayrıca Romanya, AB’deki en önemli ayçiçeği tohumu üreticisi ve ihracatçısı durumundadır (Popescu, 2012; Aghiroiu ve ark., 2015). Teknolojik gelişmeler, kaliteli girdilere erişim, yüksek performanslı çeşitler ve modern tarım ekipmanlarının kullanımı da bu konuda etki oluşturmaktadır (Gimbasanu ve ark., 2021).

Küresel ölçekte, Brezilya, Rusya Federasyonu, Hindistan, Çin ve Güney Afrika (BRICS), dünya topraklarının %25’inden fazlasını kapsamaktadır ve dünya nüfusunun %40’ını oluşturmaktadır. Artan dünya nüfusunun beslenme ihtiyacının karşılanması ve iklim değişikliğinin etkilerine yeterince yanıt verilmesi için, küresel gıda güvencesinin sağlanması acilen ele alınması gereken bir konu olmaktadır (Tyczewska ve ark., 2018).

Gıda güvencesi, “tüm insanların aktif ve sağlıklı bir yaşam için beslenme ihtiyaçlarını ve gıda tercihlerini karşılayan yeterli, güvenli ve besleyici gıdaya her zaman fiziksel ve ekonomik erişime sahip olması” olarak tanımlanmaktadır (WFS, 1996). Gıdanın fiziksel erişilebilirliği, tüketiciler için belirlenen talep ve standartlara karşılık gelen hacim ve aralıkta tüketim yerlerine sorunsuz bir şekilde ulaşılması anlamına gelmektedir (Kulikov ve Minakov, 2019). Yoksulluk ve açlık sorununun giderek derinleştiği, son yıllarda yaşadığımız küresel salgın ve doğal afetlerin arttığı günümüzde, gıda güvencesi kavramı ülkeler

açısından ön plana çıkmaktadır. Ülkelerin tarımsal kalkınmasında stratejik hedefi, gıda güvencesinin nüfusun temel gıda ürünlerinde memnuniyetinin sağlanmasıdır (Varchenko ve ark., 2018).

Küresel gıda güvencesinin yağlı tohumlar açısından durumunun, kısa vadede %2.2, uzun vadede %11.6 artışıyla sonuçlanacağı beklenmektedir (Vasylieva, 2018). Gıda güvencesinin olmaması özellikle az gelişmiş ülkelerde ve kriz bölgelerinde ciddi sorunlar doğurmaktadır. Günümüzde bir milyar kadar insanın günlük bir dolarlık gelirle yaşıyor olması bile gıdaya erişim konusunda bir problem olduğunu göstermektedir (Al-Dhobaiby, 2018). Bu nedenle sağlıklı yaşam için gıda güvencesinin sağlanması, ülkelerin öncelik verdiği konuların başında gelmektedir.

Türkiye’de ve farklı ülkelerde ayçiçeği ürününün üretim ve ekonomik yönleri üzerine bazı araştırmaların yapıldığı görülmektedir (Barghash ve ark., 2014; Fischer ve ark., 2014; Leonardo, 2015; Kaya, 2016; Berk, 2017; Konyalı, 2017; Dambale ve ark., 2018; Csep, 2018; Vilvert ve ark., 2018; Meral, 2019; Popescu, 2020; Gündüz, 2021; Kuts ve Makarchuk, 2021; Panzaru ve Medeleto, 2021). Fakat gıda güvencesi ve kendine yeterlilik bakımından Türkiye’nin ayçiçek yağındaki durumunu ayrıntılarıyla ortaya koyan, üreticilere, yatırımcılara ve yöneticilere rehber olabilecek çalışmalara da ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye ve AB’deki ayçiçek yağı üretimini gıda güvencesi ve kendine yeterlilik açısından değerlendirerek, ortaya çıkan sorunlara ilişkin çözüm önerileri getirmektir. Bu kapsamda, ayçiçek yağının Dünya, Türkiye ve AB’deki üretim, ithalat, ihracat, tüketim ve kendine yeterlilik düzeyi bakımından istatistiksel verilerle incelenerek gıda güvencesi durumunun ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışmada, daha önce Türkiye’de ve diğer ülkelerde yapılan araştırmaların sonuçlarından ve TÜİK, FAO, TEPGE, IFPRI gibi ilgili kurumların istatistiksel verilerinden yararlanılmıştır. Elde edilen veriler yüzde ve indeks hesaplamaları, regresyon analizi yapılarak çizelgeler ve grafikler halinde sunulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Bu çalışmanın ana materyalinde TÜİK, FAO, TEPGE ve IFPRI kuruluşlarının kayıt ve istatistiklerinden yararlanma yoluna gidilmiştir. Bununla birlikte ulaşılabildiği ölçüde konu ile ilgili olan her türlü yerli ve yabancı ölçüde tez, seminer,

yayımlar, makaleler ve internet kayıtlarından yararlanılmıştır. Çalışmada istatistiksel veriler değerlendirilirken 2004/05-2018/19 üretim dönemleri arasındaki 15 dönem esas alınmıştır.

### 2.2. Yöntem

Çalışmada kullanılan verilerin analizinde; 2004/05-2018/19 üretim dönemleri arasındaki üretim, ithalat, ihracat, tüketim, kendine yeterlilik miktarları dönemler itibarıyla yüzde ve indeks hesaplamalarıyla çizelgeler halinde incelenmiştir. İncelenen üretim dönemleri arasında Türkiye ve AB (28)’de gıda güvencesini etkileyen en önemli faktörleri belirlemek için regresyon analizi yapılmıştır. Bu amaçla;

$Y = a+bx$  regresyon modeli kullanılmıştır (Vural, 2012).

Veriler SPSS ve EXCEL istatistiksel analiz programı kullanılarak analiz edilmiştir.

Kendine Yeterlilik Oranı (KYO) = Kendi kendine yeterlilik oranı = (üretim x 100 / (üretim + ithalat - ihracat)) şeklinde hesaplanmıştır (FAO, 2011; Akouegnonhou ve Demirbaş, 2019)

Gıda güvencesine yönelik elde edilen sonuçlar, grafiklere ve çizelgelere dönüştürülerek değerlendirilmiştir. Üretim, ihracat, ithalat, kendine yeterlilik durumu regresyon denklemleri şeklinde analiz edilmeye çalışılmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Dünyada Ayçiçek Yağı Üretimi ve Dış Ticareti

Dünyada yağlı tohumlu bitkiler arasında üretim miktarı bakımından en yoğun üretilen yağlı tohumları soya fasulyesi, kanola, pamuk tohumu, yer fıstığı, ayçiçeği ve palm çekirdeği olmaktadır. Dünyada 2018/19 üretim döneminde 26801164 hektar alanda ayçiçek tohumu ekimi yapılmış, 51909924 ton ürün ve 1.9 ton/ha verim alınmıştır. 2018/19 üretim dönemine göre 5 dönem öncesi değerler karşılaştırıldığında, ekilen alanda %6.1, üretim miktarında %21.9, verimde ise %15.5 artış gerçekleşmiştir. Tüketim miktarındaki değişimin de %30.7 artışla 17533230 ton olduğu görülmektedir. 2018/19 üretim döneminde ayçiçek tohumu olarak 11819788 ton ithal edilirken, 12648521 ton ihraç edilmiştir. Son 5 dönemdeki değişimde ihracatta %25.5 artış, ithalatta %21.4 azalış gözlemlenmiştir.

Tablo 1. Dünya Ayçiçek Tohumu Üretimi ve Verimi

Üretim Dönemi	Ekilen Alan (ha)	Üretim Miktarı (ton)	Verim (ton/ha)	Tüketim (ton)	İthalat Miktarı (ton)	İhracat Miktarı (ton)
2014/15	25 251 475	42 568 076	1.68	13 416 092	9 734 160	10 082 384
2015/16	25 486 846	44 329 694	1.74	15 782 973	8 959 484	9 383 478
2016/17	26 335 485	47 476 141	1.8	14 907 838	9 845 408	11 132 146
2017/18	26 841 989	48 611 663	1.81	14 814 702	12 307 012	13 073 675
2018/19	26 801 164	51 909 924	1.94	17 533 230	11 819 788	12 648 521
Değişim(%)*	6.14	21.94	15.48	60.69	21.42	25.45

Kaynak: FAO, 2019 \*Son 5 dönemdeki değişimi göstermektedir.

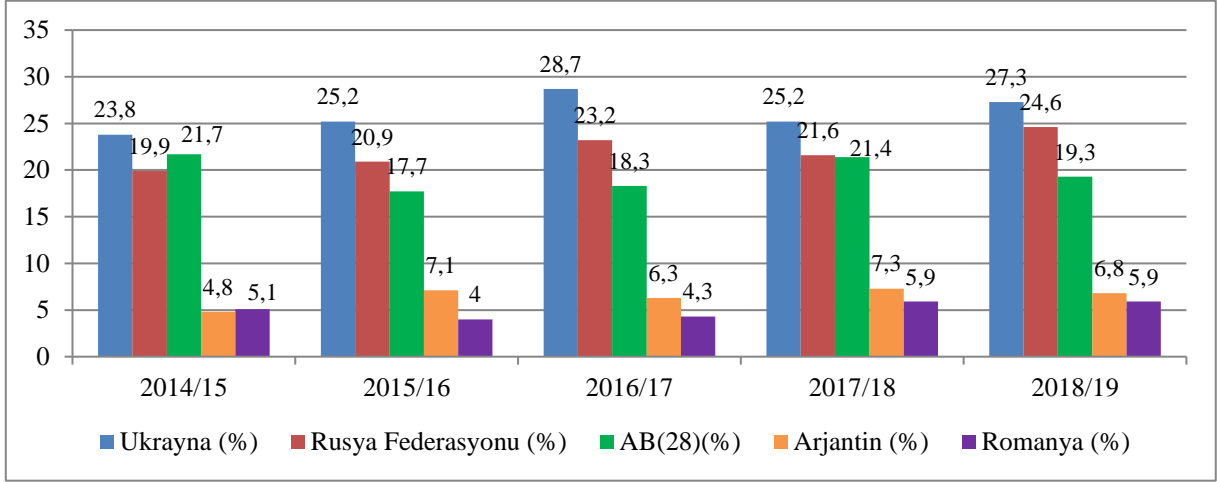
Son 5 yıllık dönemde Arjantin %33, Romanya %23.4 ve Rusya Federasyonu’nun %18.3 ekim alanlarındaki artış üretim miktarını da olumlu yönde etkilemiştir. 2018/19 üretim

döneminde ayçiçek tohumu üretiminin %71.2’si Ukrayna (%27.3), Rusya Federasyonu (%24.6) ve AB (28) (%19.3) tarafından karşılanmıştır (Şekil 1). Rusya Federasyonu 7953338



ha ekim alanıyla, dünyada ayçiçek tohum ekim alanında %29.7'lik payı ile ilk sıradadır. Dünya ayçiçek tohumu tüketimine karşın, üretimde aynı oranda artışın olduğu

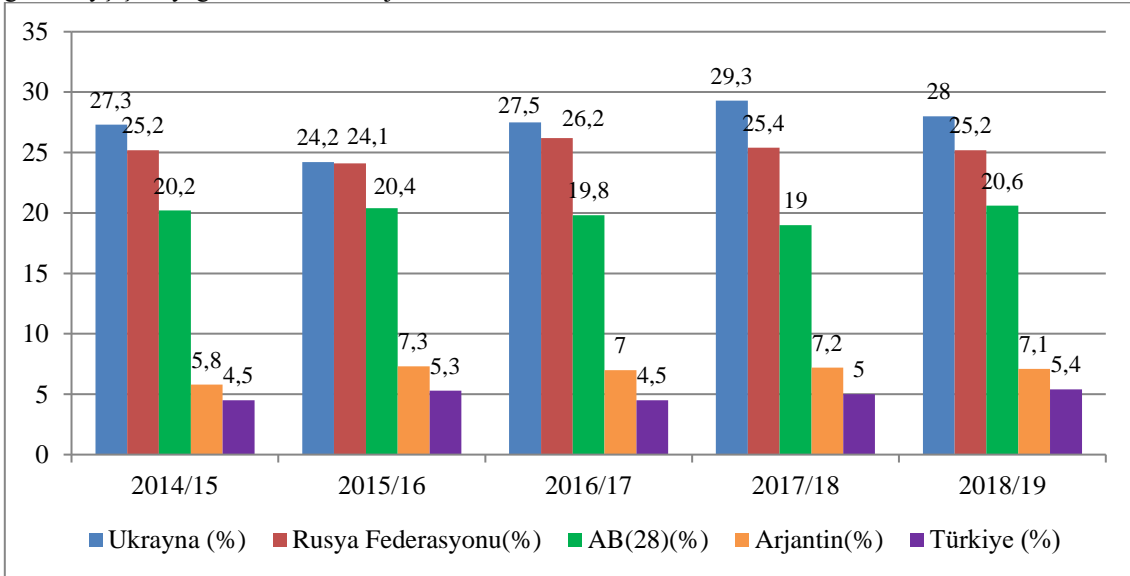
görülmemektedir. Yetersiz üretim nedeniyle, üretim açığının stok miktarından karşılanması, ülkelerin yağ ihtiyacının giderilmesinde sorunlara neden olmaktadır.



Şekil 1. Ayçiçek Tohumu Üretiminde Önemli Ülkeler (%)  
Kaynak: FAO, 2019

Dünya bitkisel yağ üretiminde ayçiçek yağı; palm, soya ve kolzadan sonra dördüncü sırada gelmektedir. 2018/19 üretim dönemine göre dünya ayçiçek yağı, toplam bitkisel yağ üretiminin %9.1'ini oluşturmaktadır. Ülkeler bazında incelendiğinde dünya ayçiçek yağı üretim sıralamasında Ukrayna, Rusya Federasyonu, AB (28), Arjantin'den sonra beşinci sırada Türkiye gelmektedir (Şekil 2). Son 5 yıllık dönem dikkate alındığında ayçiçek yağı üretiminde Arjantin %40 ve

Türkiye %37.1 ile en fazla artış sağlayan ülkeler olmaktadır. 2018/19 üretim döneminde ayçiçek yağı üretiminin %73.8'i Ukrayna (%28), Rusya Federasyonu (%25.2) ve AB(28) (%20.6) tarafından karşılanmıştır (Şekil 2). Dünya ayçiçek yağı üretiminde Ukrayna 5148606 ton üretimi ve %28'lik payı ile ilk sıradadır. Ukrayna hem ayçiçek tohumu hem de ayçiçek yağı üretiminde dünyada en önemli ülke durumundadır.



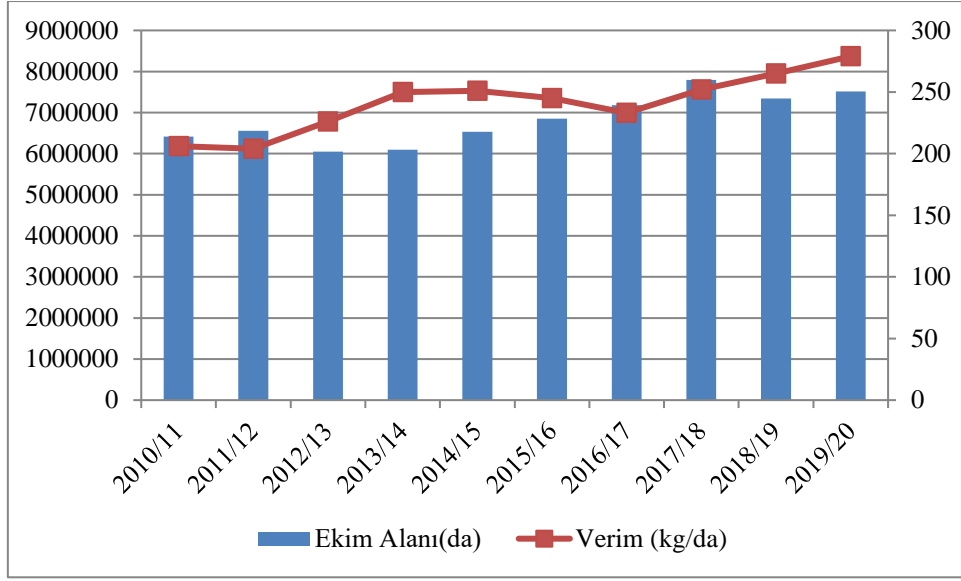
Şekil 2. Ayçiçek Yağı Üretiminde Önemli Ülkeler (%)  
Kaynak: FAO, 2019

### 3.2. Türkiye ve AB (28)'de Ayçiçek Yağı Üretimi ve Tüketimi

Türkiye'de ekimi yapılan yağlı tohumlu bitkiler içerisinde ekim alanı ve üretim bakımından ilk sırada ayçiçeği yer almaktadır. Ayçiçeği üretim alanlarının %89.30'unu ve üretim miktarının %91.92'sini yağlı ayçiçeği oluşturmaktadır (TUİK, 2020). Ayçiçeği ekim alanımızın en büyük kısmını Trakya Bölgesi (%75) oluşturmaktadır (Konyalı, 2017). Türkiye'de en

yoğun üretim alanına sahip illerimiz Tekirdağ, Edirne, Kırklareli, Konya ve Adana'dır. 2019/20 üretim döneminde Türkiye, 56072746 ton olan dünya ayçiçek tohumu üretiminin %3.75'ini karşılamaktadır (FAO, 2019). Türkiye ayçiçek tohumu ekim alanları, 2010/11-2019/20 üretim dönemleri arasında 6413430-7516930 da aralığında gerçekleşmiştir. 2019/20 üretim döneminde dünya ayçiçek tohumu verimi ortalaması 204 kg/da iken, Türkiye'de verim ortalaması 279 kg/da ile dünya ortalamasının üstünde verime sahiptir. Son yıllarda Türkiye'nin

ayçiçek tohum ekim alanının düşmesine rağmen, verim miktarında artış olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Türkiye Ayçiçek Tohumu Ekim Alanı ve Verim Karşılaştırması  
Kaynak: FAO, 2020

Türkiye'nin ayçiçek yağı üretimi 2004/05 üretim döneminde 501138 ton iken, 2018/19 üretim döneminde %98 artışla 990000 ton seviyesine ulaşmıştır (Tablo 2). Ayçiçek yağı üretim ve tüketim verilerinin 2004/05-2018/19 üretim dönemleri arasında artan bir eğilim gösterdiği görülmektedir. 2018/19'da Türkiye, dünya ayçiçek yağı tüketiminde 1071457 ton ile AB (28) (4378692 ton), Rusya Federasyonu (2565569 ton) ve Hindistan (2473581 ton) 'dan sonra dördüncü sırada yer almaktadır. Türkiye bitkisel yağlar tüketiminde ayçiçek yağını çok tüketen

ülkeler arasındadır. 2004/05-2018/19 üretim dönemleri arasında Türkiye'de nüfus miktarında %23'lük bir artış olmasına karşın, tüketim miktarında %91 oranında artış gerçekleşmiştir. Genel olarak tüketim miktarındaki artış oranının, üretim miktarındaki artış oranını aştığı, ihtiyacın ithalat yoluyla karşılandığı bilinmektedir.

Tablo 2. Türkiye Ayçiçek Yağı Üretimi ve Tüketimi

Dönemler	Nüfus (bin)	Ayçiçek Yağı Üretimi		Ayçiçek Yağı Tüketimi		
		İndeks (2004=100)	Üretimi (ton)	İndeks (2004=100)	Tüketimi (ton)	İndeks (2004=100)
2004/05	67 010	100	501 138	100	560 955	100
2005/06	67 903	101	530 725	106	711 071	127
2006/07	68 757	103	539 145	108	839 672	150
2007/08	69 582	104	524 266	105	654 526	117
2008/09	70 419	105	524 100	105	837 066	149
2009/10	71 321	106	548 811	110	770 745	137
2010/11	72 327	108	709 941	142	858 707	153
2011/12	73 443	110	806 726	161	1 071 597	191
2012/13	74 651	111	760 758	152	1 233 160	220
2013/14	75 925	113	803 621	160	1 090 004	194
2014/15	77 229	115	721 882	144	886 962	158
2015/16	78 529	117	816 944	163	997 190	178
2016/17	79 828	119	731 135	146	869 877	155
2017/18	81 116	121	928 500	185	1 051 746	187
2018/19	82 340	123	990 000	198	1 071 457	191

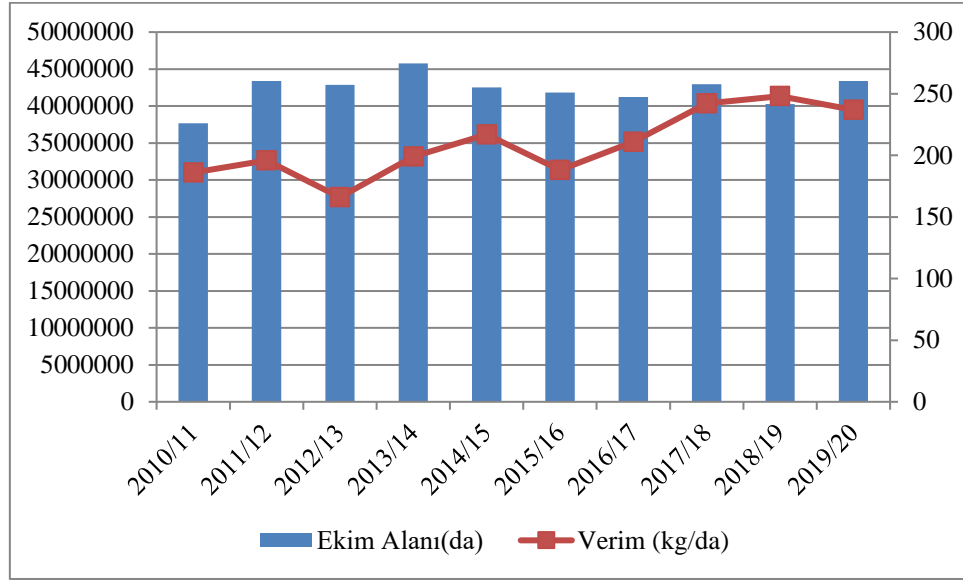
Kaynak: FAO, 2019

AB (28)'de ekimi yapılan yağlı tohumlu bitkiler içerisinde ekim alanı ve üretim bakımından kolzadan sonra, ayçiçeği ikinci sırada yer almaktadır. Ayçiçek tohumu ekim alanı bakımından 2010/11-2019/2020 üretim dönemleri arasında en fazla ekim, 2013/14'de 45783690 da ile gerçekleşmiştir. AB (28)'de verim

ortalaması son yıllarda dünya ortalamasının üstünde olup, Şekil 4'te de görüldüğü gibi dönemlere göre 186-248 kg/da aralığında değişmektedir. Ayçiçek tohumu ekim alanı ve verim bakımından dönemler itibariyle dalgalanmaların olduğu, son dönemlerde düzenli bir artışın olduğu görülmektedir. AB (28)'de ayçiçek

tohumu üretiminde en fazla verim artışı %19.88 ile 2013/14'de gerçekleşen 217 kg/da verimde olmuştur. 2019/20 üretim

döneminde ayçiçek tohumu verimi, AB (28)'de 239 kg/da ile Türkiye'den (279 kg/da) daha düşük verime sahiptir.



Şekil 4. AB (28) Ayçiçek Tohumu Ekim Alanı ve Verim Karşılaştırması  
Kaynak: FAO, 2020

AB (28) ayçiçek yağı üretimi 2004/05 üretim döneminde 2462274 ton iken, 2018/19 üretim döneminde %54 artışla 3783416 ton seviyesine ulaşmıştır (Tablo 3). 2018/19'da AB (28)'de ayçiçek yağı üretiminin %74.95'i sırasıyla Macaristan (%18.35), Fransa (%16.26), İspanya (%13.88), Romanya (%13.60) ve Bulgaristan (%12.86) tarafından gerçekleştirilmiştir (Tablo 4). Ayçiçek yağı üretim ve tüketim verilerinin 2004/05-2018/19 üretim dönemleri arasında artan bir eğilim gösterdiği görülmektedir. Fakat, aynı dönemler arasında ayçiçek yağı

üretiminde Türkiye'deki artış oranı %98 ile, AB (28)'den daha yüksek seviyededir. 2018/19'da dünya ayçiçek yağı tüketiminde AB (28) 4378692 ton ile ilk sırada yer almaktadır. 2004/05-2018/19 üretim dönemleri arasında AB (28)'de nüfus miktarında %4'lük bir artış olmasına karşın, tüketim miktarında %49 oranında artış gerçekleşmiştir. Genel olarak tüketim miktarındaki artış oranında gıda tüketimindeki ve biyodizel üretimindeki artışın etkili olduğunu düşünülmektedir.

Tablo 3. AB (28) Ayçiçek Yağı Üretimi ve Tüketimi

Dönemler	Nüfus (bin)	İndeks (2004=100)	Ayçiçek Yağı Üretimi		Ayçiçek Yağı Tüketimi	
			İndeks (2004=100)	Üretimi (ton)	İndeks (2004=100)	Tüketimi (ton)
2004/05	492 596	100	100	2 462 274	100	2 929 568
2005/06	494 504	100	95	2 332 534	95	3 119 579
2006/07	496 336	101	93	2 285 526	93	3 433 523
2007/08	498 113	101	85	2 104 541	85	3 192 790
2008/09	499 808	101	81	1 983 843	81	2 929 073
2009/10	501 401	102	104	2 555 285	104	3 562 134
2010/11	502 879	102	101	2 476 965	101	3 236 874
2011/12	504 212	102	112	2 747 051	112	3 219 090
2012/13	505 396	103	112	2 747 504	112	3 408 624
2013/14	506 475	103	113	2 784 598	113	3 271 737
2014/15	507 514	103	132	3 258 887	132	3 903 973
2015/16	508 555	103	127	3 131 262	127	3 699 929
2016/17	509 621	103	129	3 180 688	129	3 941 150
2017/18	510 683	104	141	3 479 778	141	4 618 404
2018/19	511 679	104	154	3 783 416	154	4 378 692

Kaynak: FAO, 2019

Tablo 4. AB (28)'deki Ülkelerin Son 5 Dönemlik Ayçiçek Yağı Üretimi ve Payları

AB(28)Ülkeleri*	Ayçiçek Yağı Üretimi (ton)					Üretimdeki Payı (%)
	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	
Avusturya	48 751	39 258	52 440	54 281	68 000	1.8
Belçika	24 600	21 800	33 600	38 200	42 700	1.13
Bulgaristan	360 947	317 777	404 220	461 300	486 600	12.86
Hırvatistan	33 950	36 352	34 314	48 779	30 000	0.79
Çekya	38 600	40 700	54 500	73 100	84 800	2.25
Danimarka	8	14	14	12	15	0.00
Estonya	600	500	700	800	500	0.01
Finlandiya	5 800	4 300	3 700	4 400	4 300	0.11
Fransa	568 000	566 300	496 700	529 800	615 000	16.26
Almanya	119 900	125 000	70 000	94 800	95 400	2.53
Yunanistan	63 912	49 635	44 944	41 947	56 600	1.5
Macaristan	531 000	549 000	700 000	742 000	694 200	18.35
İtalya	135 300	126 900	142 500	147 800	153 000	4.04
Letonya	1 700	700	100	1 000	800	0.02
Litvanya	1 800	1 600	1	5	5	0.00
Lüksemburg	142	170	164	192	172	0.00
Hollanda	240 500	225 500	232 100	212 400	293 600	7.76
Polonya	8 867	1 000	9 000	6 000	5 000	0.13
Portekiz	97 600	88 400	93 600	105 200	94 400	2.5
Romanya	454 576	431 149	365 768	436 464	514 671	13.60
Slovakya	20 200	17 600	13 400	13 900	12 600	0.33
İspanya	497 500	483 000	421 500	458 800	525 300	13.88
İsveç	4 634	4 607	7 423	8 598	5 753	0.15
Birleşik Krallık	0	0	0	0	0	0.00
AB (28)	3 258 887	3 131 262	3 180 688	3 479 778	3 783 416	100

Kaynak: FAO, 2019 \*Kıbrıs, İrlanda, Slovenya ve Malta'nın verilerine ulaşılamamıştır.

Tablo 5'de Türkiye ve AB (28) ülkelerinin kişi başına ayçiçek yağı tüketimi incelendiğinde, 2018 yılına göre Belçika'nın 28.12 kg ile en fazla ayçiçek yağı tüketen ülke olduğu görülmektedir. Son 5 yıllık dönemde en fazla kişi başına tüketim artışı Polonya (%227.45) ve Estonya (%201.56)'da gerçekleşmiştir. Kişi başına ayçiçek yağı tüketimi en çok azalan ülke %61.89 azalışla Hollanda olmaktadır. İspanya (17.64 kg), Romanya (15.64 kg), Yunanistan (15.37 kg) ve Bulgaristan (15.03 kg) diğer kişi başına ayçiçek yağını fazla tüketen

ülkelerdir. Aynı yıl Türkiye'de kişi başına ayçiçek tüketimi 13.01 kg olarak gerçekleşmiştir. Türkiye ve AB (28)'deki kişi başına ayçiçek yağı tüketimi, dünya ortalamasının çok üzerindedir. Türkiye'de ayçiçek yağı fiyatları zeytinyağı fiyatlarından daha düşük olduğundan dolayı Türkiye'de ayçiçek yağı tüketim miktarının fazla olduğu düşünülmektedir (Öztürk ve ark., 2009). Sağlıklı beslenmede bitkisel yağların, hayvansal yağlardan daha çok tercih edilmesi, ayçiçek yağı tüketiminde etkili olmaktadır.

Tablo 5. Türkiye ve AB (28)'de Kişi Başına Ayçiçek Yağı Tüketimi

Ülkeler	Kişi Başına Ayçiçek Yağı Tüketimi(kg)					Değişim(%)*
	2014	2015	2016	2017	2018	
Avusturya	7.84	5.91	6.66	7.26	9.65	23.09
Belçika	21.84	21.93	24.63	24.48	28.12	28.75
Bulgaristan	6.65	9.6	23.09	21.8	15.03	126.02
Hırvatistan	14.33	16.81	15.83	16.36	9.98	-30.36
Çekya	3	3.8	4.05	4.19	4.74	58
Danimarka	1.94	2.29	2.44	2.52	2.71	39.69
Estonya	0.64	1.39	1.25	2.23	1.93	201.56
Finlandiya	1.17	0.89	0.78	0.92	0.93	-20.51
Fransa	5.7	5.96	5.56	6.24	6.96	22.11
Almanya	3.82	3.51	3.54	3.95	4.28	12.04
Yunanistan	15.67	13.4	13.06	15.7	15.37	-1.91
Macaristan	6.48	11.82	26.42	20.38	14.21	119.29
İtalya	8.26	7.44	9.22	10.77	11.89	43.95
Letonya	5.46	3.86	4.24	6.25	5.43	-0.55
Litvanya	8.44	5.82	5.92	11.17	9.07	7.46
Lüksemburg	2.53	2.82	3.13	3.13	3.01	18.97
Hollanda	25.48	18.83	6.09	13.59	9.71	-61.89
Polonya	0.51	0.42	1.26	1.87	1.67	227.45
Portekiz	10.25	9.52	10.87	14.49	11.77	14.83



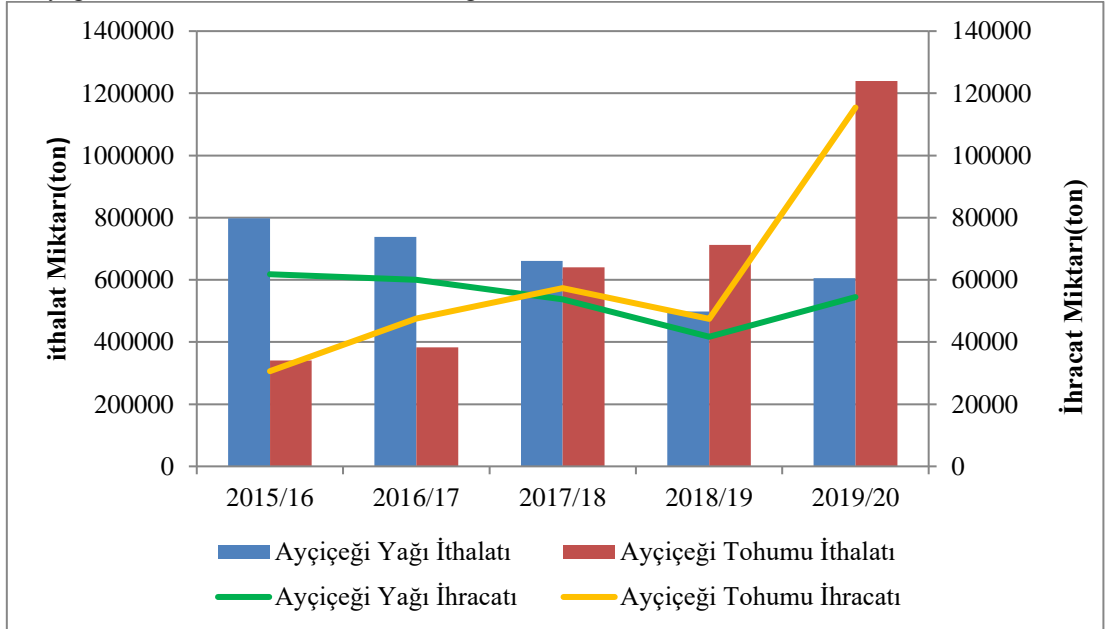
Romanya	14.91	14.44	14.01	15.27	15.64	4.9
Slovakya	9.27	7.92	7.15	8.01	7.74	-16.5
İspanya	15.39	14.79	16.04	21.46	17.64	14.62
İsveç	3.02	2.58	2.95	3.76	3.53	16.89
Birleşik Krallık	4.45	2015/16-	4.15	4.52	4.07	-8.54
AB(28)	7.69	7.28	7.73	9.04	8.56	11.31
Türkiye	11.84	12.69	10.9	12.97	13.01	9.88
Dünya	2.16	2.02	1.98	2.32	2.3	6.48

Kaynak: FAO, 2019 \*Son 5 yıldaki değişimi göstermektedir

### 3.3. Türkiye ve AB (28)'de Ayçiçek Yağı Dış Ticareti

Türkiye'de ayçiçek yağı dış ticaret istatistiklerinin verildiği Şekil 5'de, 2015/16-2019/20 üretim dönemleri arası dikkate alındığında ayçiçeği tohumu ithalatının ayçiçek tohumu ihracatının çok üstünde olduğu görülmektedir. Çünkü Türkiye'de gerek yurtiçi tüketim ve gerekse de ihracat için yıllık toplam 1.7 milyon tonluk Ayçiçek yağı ihtiyacının karşılanması için yaklaşık 3.7 milyon ton yağlık ayçiçeği tohumu (%45 yağ oranına sahip) veya 1.850 milyon ton ham yağ kullanılması gerekmektedir (TOBB, 2021). 2019/20 üretim döneminde 1239492 ton tohum ve 604955 ton ayçiçeği yağı ithalatı gerçekleştirilirken, 115416 ton tohum ve 544593 ton ayçiçeği yağı ihracatı yapılmıştır. Türkiye 2019/20 üretim döneminde yağlık ayçiçek tohumu ihtiyacının büyük bir kısmını Rusya Federasyonu (328097 bin \$), Bosna Hersek (31536 bin \$) ve Bulgaristan (17020 bin \$)'dan tedarik etmiştir. Aynı dönem Türkiye'nin en fazla ihracat yaptığı ülke 47328 bin \$ ile Irak'dır (Trade Map, 2021). 2019/20 üretim döneminde, bir önceki döneme göre ithalat miktarının ayçiçek tohumunda %21.39 oranında, ayçiçek yağında %74.06 oranında arttığı

görülmektedir. Türkiye'nin ayçiçek tohumu ithalat ve ihracat miktarı 2019/20 üretim döneminde ciddi oranda artış göstermiştir. Türkiye 2019/20'de 1239492 ton ayçiçek tohumu ithalatıyla, en fazla ithalat yapan ülke durumundadır. Covid-19 pandemisi nedeniyle ihracatçı ülkelerin (Rusya Federasyonu, Romanya, Ukrayna, Moldova) ayçiçek yağındaki ihracat kısıtlamaları ve yasaklamaları uygulamaya başlamaları büyük risk oluşturmuştur (TEPGE, 2021). Bu nedenle Türkiye'nin ayçiçek tohumu ithalatında büyük bir oranda artış gerçekleşmiştir. Türkiye'de yağlık ayçiçeği üretim miktarının tüketim miktarını karşılayamaması nedeniyle, yağ açığımız ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Türkiye'de ayçiçeği yağının insanların damak zevkine hitap etmesi, diğer yağlara göre üretiminin fazla ve fiyatının ucuz olması nedeniyle tüketim miktarı oldukça yüksektir. Dolayısıyla ayçiçek yağı stratejik öneme sahip ürünlerimizdendir. Üretim yetersizliği nedeniyle Türkiye'de ithal edilen önemli tarım ürünleri arasında ayçiçeği yağı da yer almaktadır (Gül ve ark., 2016).



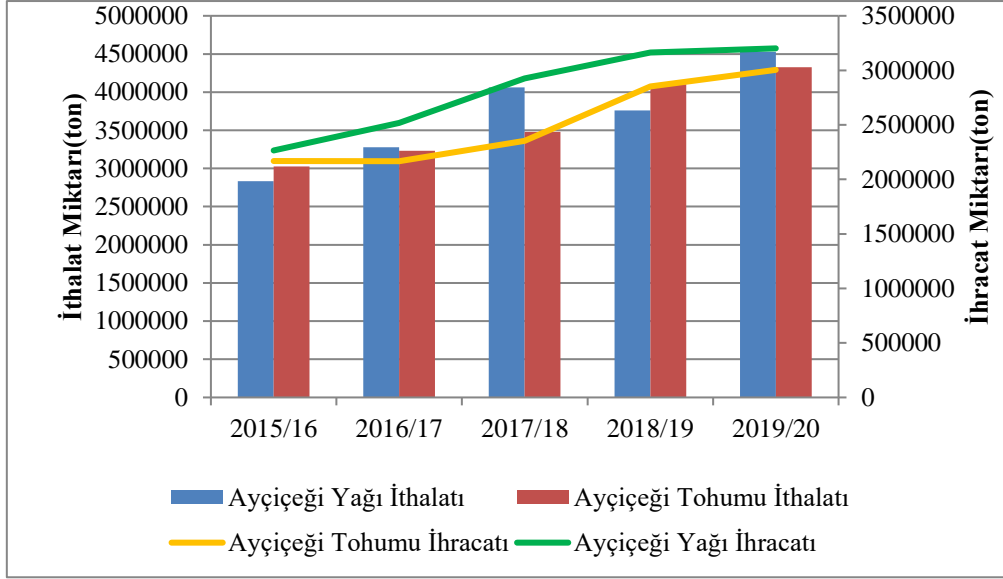
Şekil 5. Türkiye'de Son 5 Dönemlik Ayçiçek Yağı Dış Ticareti  
Kaynak: FAO,2020

Şekil 6'da AB (28) ayçiçek yağı dış ticaret istatistikleri incelendiğinde, 2015/16-2019/20 üretim dönemleri arasında ayçiçeği tohumu ithalatının ayçiçek tohumu ihracatına yakın seviyede olduğu görülmektedir. 2019/20 üretim döneminde AB (28), 4327825 ton ayçiçek tohumu ve 4525987 ton ayçiçeği yağı ithalatı gerçekleştirirken, 4291633 ton ayçiçek tohumu ve

3201311 ton ayçiçeği yağı ihracatı yapmıştır. 2019/20 üretim döneminde, bir önceki döneme göre ayçiçek yağı ithalat miktarında %20.43 artış, ihracat miktarında %1.21 artış gerçekleşmiştir. AB (28), 2019/20'de dünyada en fazla ayçiçek tohumu ithalatı yapan ülkeler sıralamasında grup olarak ikinci sırada yer almaktadır. 2019/20 üretim döneminde AB (28)'nin en

fazla ayçiçek yağı ihracatı yaptığı ülkeler sırasıyla Hollanda (388789 bin \$), Bulgaristan (239487 bin \$) ve Macaristan

(219922 bin \$)'dır. Ayçiçek yağı ithalatında ise ilk sırada 453587 bin \$ ile İtalya gelmektedir.



Şekil 6. AB (28)'de Son 5 Dönemlik Ayçiçek Yağı Dış Ticareti  
Kaynak: FAO, 2020

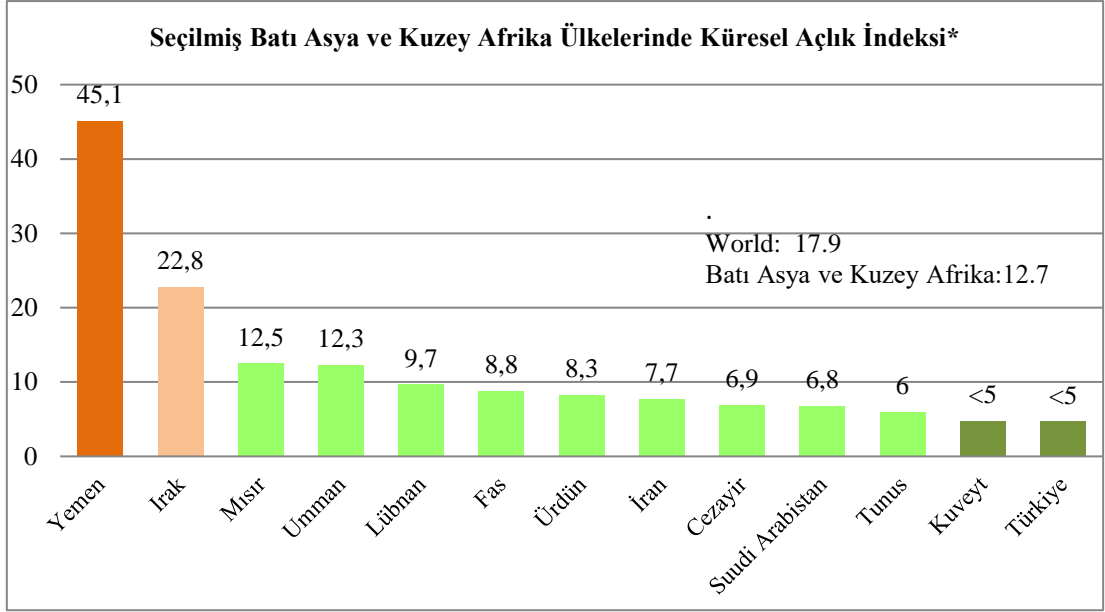
### 3.4. Türkiye ve AB (28)'de Gıda Güvencesi

Gıda güvencesi ve kendine yeterlilik terimleri anlam olarak karıştırılabilmektedir. Gıda güvencesi, gerektiğinde gıda ithalatı yoluna gidilerek yurtiçi talebin karşılanmasının sağlanmasını esas alırken (Blein, 2007), kendi kendine yeterlilik oranı bir ülkenin tüketicilerinin tüm ihtiyaçlarını ülkenin yerli üretiminden karşılama yeteneğini ölçmektedir (Slaboch ve ark., 2018).

Gıda güvencesi bakımından Türkiye ve AB (28)'nin durumunu değerlendirirken, Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde bulunan Uluslararası Gıda Politikaları Araştırma Enstitüsü tarafından yayınlanan Küresel Açlık Endeksi (GHI)'nden yararlanılmıştır. GHI, her yıl gelişmekte olan yaklaşık 132 ülke için hesaplanmaktadır. İndekste şiddetli gıda güvencesizliği belirlenirken, ülkelerin yetersiz beslenen nüfus

oranı, beş yaş altı çocuklardaki aşırı zayıflık, boy kısalığı-bodurluk ve ölüm oranı dikkate alınmaktadır (IFPRI 2021).

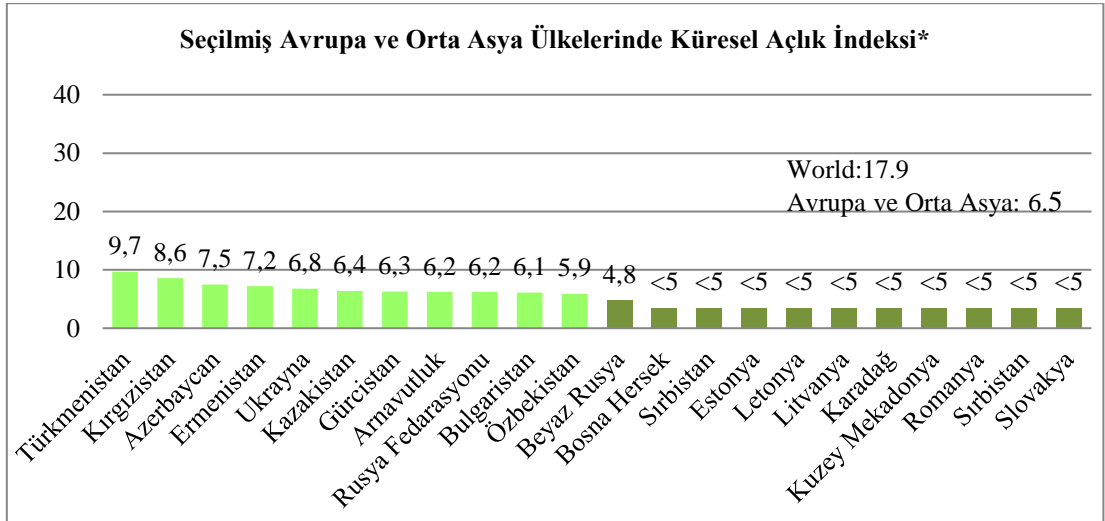
Türkiye 2020 GHI sonucuna göre almış olduğu 2.5'in altındaki puanla konumu iyi ülkeler arasında yer almaktadır (Şekil 7). Seçilmiş Batı Asya ve Kuzey Afrika ülkeleri arasındaki indeks ortalamasından da (12.7 puan) iyi durumdadır. Ekonomik İstihbarat Birimi (EIU)'nin 2019 yılının sonunda yayınladığı 2019 Küresel Gıda Güvencesi İndeksi (GFSI) sonuçlarında ise Türkiye'nin, son sekiz yıl için yapılan sıralamada, gıdanın erişilebilirliği bakımından 51'nci sırada sabit kaldığı, gıdanın bulunabilirliği bakımından 41'nci sıradan 34'ncü sıraya yükseldiği, gıda kalitesi ve güvenliği bakımından ise 41'nci sıradan 40'nci sıraya yükseldiği görülmektedir (Kulakoğlu, 2020).



Şekil 7. Seçilmiş Batı Asya ve Kuzey Afrika Ülkelerinde Küresel Açlık İndeksi Puanları  
\*■ <5 çok düşük , ■ 5- <15 düşük , ■ 15- <25 orta , ■ 25- <35 yüksek , ■ ≥35 çok yüksek,  
Kaynak: Küresel Açlık İndeksi, 2021

Şekil 8’de seçilmiş Avrupa ve Orta Asya ülkelerindeki küresel açlık indeksi ortalaması 6.5 puanla, Türkiye’den daha fazla puana sahiptir. Şekil 8 incelendiğinde gıda güvencesi bakımından, Türkiye (<2.5), AB (28) ülkeleri arasında yer alan

Bulgaristan (3 puan) ve Slovakya (4 puan)’dan daha iyi konumdadır. Letonya (<2.5), Litvanya (<2.5) ve Romanya (<2.5) ise Türkiye ile aynı seviyede gıda güvencesine sahiptir.



Şekil 8. Seçilmiş Batı Avrupa ve Orta Asya Ülkelerinde Küresel Açlık İndeksi  
\*■ <5 çok düşük , ■ 5- <15 düşük , ■ 15- <25 orta , ■ 25- <35 yüksek , ■ ≥35 çok yüksek,  
Kaynak: Küresel Açlık İndeksi, 2021

### 3.4.1. Türkiye ve AB (28)’de Ayçiçek Yağında Gıda Güvencesi ve Kendine Yeterlilik

Gıda güvencesi ve kendine yeterlilik kavramları, ülkelerin gıda ihtiyaçlarının karşılanmasında stratejik öneme sahiptir. Ülkeler nüfusunun ihtiyacı olan gıda gereksinimini karşılamak için gerekli olanakları sağlamak ve tedbirleri almakla yükümlüdür. Dünya Gıda Zirvesi’nde 2015 yılına kadar yetersiz beslenen insanın kalmaması planlanmıştır. Bu bağlamda, FAO’nun 2001 yılı raporuna göre gıda güvencesinin tanımı “bütün insanların her zaman aktif ve sağlıklı yaşamı için gerekli olan besin ihtiyaçlarını ve gıda önceliklerini karşılayabilmek amacıyla

yeterli, sağlıklı, güvenilir ve besleyici gıdaya fiziksel ve ekonomik bakımdan sürekli erişebilmeleri” şeklinde güncellenmiştir. Gıda güvencesi için en önemli şart, toplum fertlerinin gıda gereksinimlerini karşılamak üzere tüketilecekleri yeterli besinin bulunmasıdır. Bu şart, ülkenin kendi üretimi (kendine yeterlilik) ile olduğu gibi ya da yetersiz kalması durumunda kısmen ya da tamamen dış alım yoluyla eksikliğini karşılanması anlamına gelmektedir (Kulakoğlu, 2020; Eraktan ve Yelen, 2012).

Ürünlerin gıda güvencesi üretim miktarı, ithalat ve ihracat politikaları ile ilgilidir. Farklı ürünlerin yeterliliği, gıda talebini karşılayacak gerçekleşen üretime göre ölçülmektedir. Talebin

karşılanmasında yetersiz olunan durumlarda, gıda talebindeki açığı kapatmak için ithalat uygulanmaktadır (Al-Dhobaiby, 2018). Yerel üretimin, talebi karşılaması durumunda ülkenin kendine yeterli olduğundan söz edilmektedir. Ülkelerin gıda güvencelerinin belirlenmesinde de kendine yeterlilik oranı en belirleyici kriter olmaktadır.

Türkiye'nin ayçiçek yağı üretiminde, kendi üretimi yetersiz olduğu için çoğu zaman ithalat yoluyla talebi karşılamaktadır. Covid-19 pandemisinin başlangıcından beri, ihracatçı ülkeler ayçiçeği ihracat vergilerini artırarak, ürünün yurtdışı satışını engelleme yoluna gitmişlerdir. Türkiye, dış piyasada yaşanan bu gelişmelerden etkilenmemek ve iç talebe yetecek düzeyde yağlık ayçiçeği tohumuna erişim sağlamak için 2020 yılında Covid-19 pandemisinin başladığı andan itibaren belirli dönemlerde

ayçiçeği tohumu ithalatında gümrük vergisini sıfırlar iken, ham ayçiçek yağı ithalatında da vergiyi %3'e düşürerek erken tedbir alma yoluna gitmiştir (Gündüz, 2021).

Tablo 6'daki verilerin analizinin sonuçları, Türkiye'de ayçiçek yağının ortalama kendi kendine yeterlilik oranının, 2004/05-2018/19 üretim dönemlerinde %60-90 seviyelerinde değişkenlik gösterdiğini göstermektedir. Aynı zamanda, Türkiye'nin ayçiçek yağında kendi kendine yeterlilik seviyesine ulaşamadığı da görülmektedir. 2012/13 üretim döneminde kendi kendine yeterliliğin en düşük değeri %61.69 olurken, 2018/19 döneminde kendine yeterlilik %92.39 ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Türkiye'nin ayçiçek yağında kendine yeterlilik değerlerinde dalgalanmaların olduğu, istikrarlı bir artışın olmadığı görülmektedir.

Tablo 6. Türkiye'nin Ayçiçek Yağı Üretim, İthalat, İhracat ve Kendine Yeterlilik Oranı

Dönemler	Üretim (bin ton)	İthalat (bin ton)	İhracat (bin ton)	Kendine*	
				Yeterlilik Oranı (%)	
2004/05	501.14	78.30	18.49		89.34
2005/06	530.73	203.52	23.17		74.64
2006/07	539.15	399.70	99.17		64.21
2007/08	524.27	163.12	32.86		80.09
2008/09	524.10	411.76	98.79		62.61
2009/10	548.81	323.59	101.66		71.21
2010/11	709.94	224.51	75.75		82.68
2011/12	806.73	469.96	205.09		75.28
2012/13	760.76	743.44	271.03		61.69
2013/14	803.62	632.05	345.67		73.73
2014/15	721.88	829.16	664.08		81.39
2015/16	816.94	798.17	617.92		81.92
2016/17	731.14	738.41	599.66		84.05
2017/18	928.50	660.68	537.44		88.28
2018/19	990.00	498.35	416.89		92.39

Kaynak: FAO, 2019

Türkiye'de ayçiçek yağına ait regresyon analizleri sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Genel olarak tüm parametreler artış yönlü olmaktadır. Ayçiçek yağı üretiminin zaman trendi denklemine göre, yaklaşık yıllık 32.475 ton istatistiksel olarak önemli bir artış kaydettiğini göstermektedir. Modelin genel güven katsayısının değeri 0.830'dur, yani miktardaki değişimin yaklaşık %83'ü zaman faktöründen ve %17'si diğer etkenlere bağlıdır. Modelde F test değeri (63.403) istatistiksel açıdan anlamlıdır ( $p < 0.01$ ).

Ayçiçek yağı ihracatında yıllık ortalama 46.772 ton artış söz konusudur. Güven faktörünün değerinin 0.773 olduğu, yani ihracattaki değişmelerin yaklaşık %77'sinin zaman bileşenine %23'ünün diğer etkilere bağlı olduğu bulunmuştur. Modelde F test değeri (44.170) istatistiksel açıdan anlamlıdır ( $p < 0.01$ ).

Tablo 7'de yapılan ithalatlar için genel zaman eğilimi denklemindeki sonuçlar, zaman faktörünün ayçiçek yağının ithalat değişkeni üzerinde olumlu ancak, ihracata göre daha düşük seviyede etkisinin olduğunu göstermektedir. Güven faktörünün değerinin 0.605 olduğu, yani ithalattaki değişmelerin yaklaşık %60'ının zaman bileşenine %40'ının diğer etkilere bağlı olduğu bulunmuştur. Modelin F değeri 22.405 olarak tahmin edilmiş, istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ( $p < 0.01$ ).

Ayçiçek yağı kendine yeterlilik katsayısı 0.009 olup, güven faktörünün 0.171 olarak çok düşük seviyede olduğu görülmektedir. Regresyon modeli (F) cinsinden anlamlı değildir. Sonuçlar, yeterlilik yüzdesindeki değişikliklerin %17'sinin zaman değişkenine bağlı olduğunu ve %83'ünün modelde yer almayan diğer faktörlerden kaynaklandığını göstermiştir. Bu durum yerel üretimin yetersiz olduğunu ve gıda güvencesinde bir açık olduğunu göstermektedir.



Tablo 7. Türkiye’de Ayçiçek Yağı ait 2004/05-2018/19 Döneminin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Faktör	Denklem	R <sup>2</sup>	F	p değeri
Üretim	Y= 436.042+32.475X	0.830	63.403	0.000
İhracat	Y= -100.334+46.772 X	0.773	44.170	0.000
İthalat	Y= 126.741+43.946X	0.605	22.405	0.000
Yeterlilik Oranı	Y= 0.704+0.009X	0.171	2.688	0.125

Tablo 8'deki veri analizi sonuçlarına göre, AB (28)'de ayçiçek yağında kendine yeterlilik oranının %65-85 seviyelerinde olduğu görülmektedir. 2007/08 üretim döneminde en düşük kendi kendine yeterlilik değeri %65.91 iken, 2018/19 üretim döneminde %86.41 ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Ayçiçek yağında kendine yeterlilik değerlerinde meydana gelen

dalgalanmalarda, üye ülkelerin üretimlerinde yaşanan belirsizlikler etken olmaktadır. AB (28) ve Türkiye dünyadaki ayçiçek yağı ithalatının yaklaşık yarısını gerçekleştiren ülkelerdir. Bu nedenle ayçiçek yağında kendine yeterli olma durumu mümkün olmamaktadır.

Tablo 8. AB (28)'de Ayçiçek Yağı Üretim, İthalat, İhracat ve Kendine Yeterlilik Oranı

Dönemler	Üretim (bin ton)	İthalat (bin ton)	İhracat (bin ton)	Yeterlilik Oranı (%)
2004/05	2 462.27	1539.87	1 072.58	84.05
2005/06	2 332.53	1986.11	1 199.07	74.77
2006/07	2 285.53	2459.83	1 311.84	66.56
2007/08	2 104.54	2458.68	1 370.43	65.91
2008/09	1 983.84	2395.94	1 450.71	67.73
2009/10	2 555.29	2484.29	1 477.45	71.73
2010/11	2 476.97	2490.06	1 730.15	76.52
2011/12	2 747.05	2472.07	2 000.03	85.33
2012/13	2 747.50	2901.99	2 240.88	80.60
2013/14	2 784.59	2897.41	2 410.27	85.11
2014/15	3 258.89	2994.92	2 349.83	83.47
2015/16	3 131.26	2833.76	2 265.09	84.63
2016/17	3 180.69	3278.41	2 517.94	80.70
2017/18	3 479.78	4063.68	2 925.05	75.35
2018/19	3 783.42	3758.16	3 162.88	86.41

Kaynak: FAO, 2019

AB (28)'de ayçiçek yağına ait regresyon analizleri sonuçları Tablo 9'da verilmiştir. Genel olarak tüm parametreler artış yönlü olmaktadır. Ayçiçek yağı üretiminin zaman trendi denklemine göre, yaklaşık yıllık 32.475 ton istatistiksel olarak önemli bir artış kaydettiğini göstermektedir. Çizelgedeki sonuçlara göre, belirleme katsayısının değerinin 0,809 olduğunu, yani üretimdeki değişikliklerin yaklaşık % 80'inin zaman bileşenine bağlı olduğunu ve %20'sinin diğer etkilere bağlı olduğunu göstermektedir. Modelde F test değeri (55.185) istatistiksel açıdan anlamlıdır (p<0.01).

Ayçiçek yağı ihracatında yıllık ortalama 141.682 ton artış söz konusudur. Güven faktörünün değerinin 0.853 olduğu, yani ihracattaki değişmelerin yaklaşık %85'inin zaman bileşenine %15'inin diğer etkilere bağlı olduğu bulunmuştur. Modelde F test değeri (264.127) istatistiksel açıdan anlamlıdır (p<0.01).

Tablo 9'da yapılan ithalatlar için genel zaman eğilimi denklemindeki sonuçlar, zaman faktörünün ayçiçek yağının ithalat değişkeni üzerinde olumlu ancak, ihracata göre daha düşük seviyede etkisinin olduğunu göstermektedir. Güven faktörünün değerinin 0.842 olduğu, yani ithalattaki değişmelerin yaklaşık %84'ünün zaman bileşenine %16'sının diğer etkilere bağlı olduğu bulunmuştur. Modelin F değeri 69.382 olarak tahmin edilmiş, istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur (p<0.01).

Ayçiçek yağı kendine yeterlilik katsayısı 0.009 olup, güven faktörünün 0.286 olarak çok düşük seviyede olduğu görülmektedir. Regresyon modelinde F değeri 5.208, istatistiksel açıdan anlamlıdır (p<0.05). Sonuçlar, yeterlilik yüzdesindeki değişikliklerin %28'inin zaman değişkenine bağlı olduğunu ve %72'sinin modelde yer almayan diğer faktörlerden kaynaklandığını göstermiştir. Bu durum yerel üretiminde kendine yeterlilik düzeyinin düşük olduğunu göstermektedir.

Tablo 9. AB (28)'de ayçiçek yağı ait 2004/05-2018/19 Döneminin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Faktör	Denklem	R <sup>2</sup>	F	p değeri
Üretim	Y=1918.035+104.530X	0.809	55.185	0.000
İhracat	Y=832.156+141.682X	0.853	264.727	0.000
İthalat	Y=1688.011+130.792X	0.842	69.382	0.000
Yeterlilik Oranı	Y=0.710+0.009X	0.286	5.208	0.040

#### 4. Sonuç

Bitkisel yağlar içerisinde ayçiçek yağı, sağlıklı beslenme ve enerji üretimi için tüketimi sürekli artan bir üründür. Türkiye'de bitkisel sıvı yağ tüketiminin önemli bir kısmını yağlık ayçiçeğinden elde edilen ayçiçek yağı oluşturmaktadır. Son on beş yıllık süreçte Türkiye'nin gerçekleştirdiği yıllık ortalama ayçiçek yağı ithalatı 78 bin tondan, 498 bin ton seviyelerine ulaşmıştır. Türkiye'de ayçiçek tohumu ve ayçiçek yağı üretimi henüz tüketim ihtiyacını karşılayacak düzeyde olmadığı için, Türkiye'nin ithalata olan bağımlılığının yakın gelecekte de devam edeceği düşünülmektedir.

Ayçiçek yağı üretimi ve dış ticaretine yönelik yapılan projeksiyon çalışmalarında da Türkiye'nin 2014/15 döneminde 1.1 milyar dolar olan ayçiçek yağı ithalatının 2030/31 döneminde 2.5 milyar dolar olacağı tahmin edilmektedir (Güleş ve Özgüven, 2016). FAO 2012-2021 Tarımsal Öngörüler Raporunda ham petrol fiyatlarındaki değişimler, zorunlu biyoyakıt uygulamaları ve güçlü gıda talebi nedeniyle önümüzdeki on yılda yağlı tohum ve türevlerinde nominal artış olacağını beklentilerine yer verilmektedir (TCTB, 2020). Bu nedenle gerek ayçiçek tohumu gerekse de ayçiçek yağının ithalatının azaltılması Türkiye ekonomisine önemli kazançlar sağlayabilecektir.

Son yıllarda ayçiçek yağı üretiminde ABD, Fransa ve İspanya'da hem kızartmalık için uygun ve sağlıklı olan, hem de biyodizel için uygun oleik asit oranı yüksek ayçiçeği üretimi yaygınlaşmaya başlamıştır. Türkiye'de kullanılan çeşitlerin çoğunda linoleik asit oranı da yüksek olduğundan dolayı Türkiye avantajlı konumda yer almaktadır (TCTB, 2020). Bu amaçla geliştirilecek çeşitlerde oleik asit oranının yüksek olmasının, ticari anlamda önemli fayda sağlayacağı öngörülmektedir. Türkiye'de ayçiçeğinde hibrit tohum kullanımı yaygın olsa da yağ oranı düşüktür. Oysa ihracatta söz sahibi olan Rusya Federasyonu ve Ukrayna gibi ülkelerde hibrit tohum kullanımı Türkiye'ye göre daha az olmasına rağmen, yağ oranı yüksektir. Bu nedenle ticarete önemli yere sahiptirlerdir.

Türkiye ve AB (28)'in ayçiçek yağında gıda güvenliği bakımından kendine yeterlilik düzeyleri istenilen seviyelerde değildir. Türkiye'nin kendine yeterlilik oranı, AB (28)'e göre, son yıllarda daha fazla artış gösterse de talebi karşılayamamaktadır. AB (28) ülkeleri, ihtiyacı olan ayçiçek yağını daha çok kendi üye ülkelerinden karşılamaktadır.

Türkiye, gıda güvenliği bakımından dünya ülkeleri arasında iyi durumda olmasına rağmen ayçiçek yağı üretiminde yurtiçi talebini karşılayabilecek yeterlilikte bulunmamaktadır. Türkiye'nin özellikle de ayçiçek yağının hammaddesini oluşturan ayçiçek tohumunda da dışa bağımlı olması üretimi

etkilemektedir. Yağlık ayçiçek tohumu açığımızın ithalat yoluyla karşılanmasında döviz kurlarındaki artışında etkisiyle hammadde maliyetini arttırmaktadır. Bu nedenle son zamanlarda ayçiçek yağında fiyat artışları yaşanmaktadır.

Son yıllarda gündemde olan Covid-19 pandemisi, kuraklık, iklim değişikliği gibi faktörlerin de etkisiyle, dünya genelinde ayçiçek yağına olan talep artmış, ülkelerin ihracat kısıtlamaları ayçiçek yağı fiyatında yükselişe neden olmuştur. Bu nedenle Türkiye'nin stratejik ürünleri arasında yer alan ayçiçek yağı üretiminde dışa bağımlılığının azaltılması için, kaliteli, yüksek oranda yağ içeren, birim alandan yüksek verim sağlayan hibrit çeşitlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Üretim aşamasında desteklemeler artırılmalı ve bu konuda istikrarlı tarım politikaları oluşturulmalıdır. Türkiye'nin yağ üretiminin artırılmasıyla tarım sektöründe ve üreticilerde gelir artışı sağlanabilecek ve aynı zamanda ithalatın önlenmesiyle ve işlenmiş yağ ihraç edilmesiyle ülke ekonomisine önemli katkı sağlanabilecektir.

Özellikle gelişmekte olan ülkeler için, tarım ürünlerinde gıda güvenliği ve kendine yeterlilikte, nüfus artışı ve küresel iklim değişikliğinin etkileri daha fazla olmaktadır. Bu nedenle devamlı artan talep karşısında küresel kriz ve iklim değişikliğini de kapsayan kısa, orta ve uzun vadede alınabilecek önlem ve tarım politikaları belirlenmelidir. Türkiye'de ayçiçek yağı üretimini ve verimini artırmak amacıyla gümrük vergileri en üst seviyede tutularak yurtiçi üretim teşvik edilmelidir. Ayçiçek yağı üretiminde tohum girdileri en büyük maliyet unsurudur. Üretimimizde koruyucu ve destekleyici politikalar benimsenmelidir.

Gıda güvenliği sorunu ayçiçek yağında olduğu gibi, diğer tarım ürünleri içinde geçerli bir sorundur. Türkiye'de üretilen bütün ürünlerde gıda güvenliği durumu analiz edilmeli ve bu konuda gerekli tedbirler zamanında alınarak gıda güvenliği iyileştirilmelidir. Bugün gerekli tedbirler alınmazsa, gelecek nesillerin daha büyük gıda güvenliği sorunlarıyla karşılaşması muhtemeldir.

#### Kaynakça

- Akouegnonhou, O. ve Demirbaş, N. (2019). Forecasting of Rice Self-Sufficiency in the Benin Republic Using ARIMA Model, *SJAIFS*, 33 (3), 204-214
- Al-Dhobaiby, K. M. (2018). Arap baharından sonra Yemen'de gıda güvenliği. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Bursa/Türkiye.
- Arghiroiu, G.A., Cristea, S., Alecu, I.N. (2015). Tendencias regarding trade with oleaginous seeds of Romania. *Scientific Papers. Series "Management, Economic Engineering in Agriculture and rural development"*, Vol. 15, Issue 3, pp. 49-58.

- Barghash, R. M., Othman, A. Z., Youssef, R. A. (2014). Economic study of main oilseeds production and consumption indicators in Egypt. *Life Science Journal*, 10(11).
- Berk, A. (2017). The analysis of relationship between sunflower production and its price by using Koyck model in Turkey. *CUSTOS E AGRONEGOCIO ONLINE*, 13(4), 42-53.
- Blein, R. (2007). Souveraineté alimentaire: des principes aux réalités. *Grain de Sel*, (37).
- Csép, N. (2018). Sunflower in Romanian agriculture. *Acta Agraria Debreceniensis*, 153-163.
- Dambale, A. S., Ghotmukale, A. K., Khandekar, S. D., Suryawanshi, S. B., Suryararshi, V. P., Shinde, R. S. (2018). Influence of integrated nutrient management on growth, yield, quality and economics of sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Int. J. Curr. Micro Appl*, 6, 1226-1233.
- Eğritaş, Ö. (2020). Bitkisel Yağ Üretiminde Tercih Edilen Yağlık Ayçiçeğinin Önemi. *Değerli Besin Kaynağı Olan Bitkisel Yağların Önemi*, Volkan Gül, Editör, Ankara/Türkiye.
- Eraktan G., Yelen B. (2012). Üretici, Tüketici ve Yoksulluk Olgusu Yönünden Türkiye’de Gıda Güvencesi. 10.Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, 5-7 Eylül 2012,Konya, s.121-128.
- Fischer, R.A., Byerlee, D., Edmeades, G.O. (2014). Crop yields and global food security: will yield increase continue to feed the world? ACIAR Monograph No. 158. Australian Centre for International Agricultural Research: Canberra. Xxii + 634 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2011). Statistical Pocket Book, Erişim Adresi: <http://www.fao.org/3/i2493e/i2493e06.pdf> Erişim Tarihi: 10.11.2021
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2018). Food and Agriculture Data. <https://www.fao.org/faostat/en/> Erişim Tarihi:01.10.2021
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). Food and Agriculture Data. <https://www.fao.org/faostat/en/> Erişim Tarihi: 01.10.2021
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). Food and Agriculture Data. <https://www.fao.org/faostat/en/> Erişim Tarihi: 01.10.2021
- Gimbasanu, G. F., Rebeaga, D. E., Tudor, V. C. (2021). Comparative Analysis of the Main Technical Indicators for Sunflower Crop in Romania.
- Gül, V., Öztürk, E., Polat, T. (2016). Günümüz Türkiye’inde Bitkisel Yağ Açığını Kapatmada Ayçiçeğinin Önemi/The Importance of Sunflower to Overcome Deficiency of Vegetable Oil in Turkey. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 30(1), 70-76.
- Güleş, H.K. ve Özgüven, M. (2016). Ayçiçeğinin Stratejik Ürün Kapsamına Alınmasına İlişkin Araştırma Raporu.
- Gündüz, O. (2021). Türkiye’de Ayçiçek Yağı Fiyatı Niçin Artıyor: Kısa ve Uzun Dönem Dinamik Analizi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 10(1), 30-48.
- Hoffmann, H., Uckert, G., Reif, C., Graef, F., Sieber, S. (2015). Local biofuel production for rural electrification potentially promotes development but threatens food security in Laela, Western Tanzania. *Regional environmental change*, 15(7), 1181-1190.
- International Food Policy Research Institute (IFPRI). (2021). 20 Global hunger index. 1 Ekim 2021, Erişim adresi: <https://www.ifpri.org/publication/2021-global-hunger-index-armed-conflict-and-challenge-hunger>
- Kaya, Y. (2016). Ülkemizde ayçiçeği durumu ve gelecekteki yönü. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(ÖZEL SAYI-2), 322-327.
- Khan, S., Choudhary, S., Pandey, A., Khan, M. K., Thomas, G. (2015). Sunflower oil: Efficient oil source for human consumption. *Emergent Life Sciences Research*, 1, 1-3.
- Konyalı, S. (2017). Sunflower production and agricultural policies in Turkey. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 6(4), 11-19.
- Kulakoğlu, Ö. (2020). Türkiye’de tarımda kendine yeterlilik ve gıda güvencesi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Tekirdağ/Türkiye.
- Kulikov, I. M. ve Minakov, I. A. (2019). Food security: problems and prospects in Russia. *Scientific Papers: Management, Economic Engineering in Agriculture & Rural Development*, 19(4).
- Kuts, T. ve Makarchuk, O. (2021). The Economic Efficiency of Sunflower Seed Production in Ukraine: State and Perspectives. *Scientific Papers: Management, Economic Engineering in Agriculture & Rural Development*, 21(1).
- Leonardo, W. J., Florin, M. J., van de Ven, G. W., Udo, H., Giller, K. E. (2015). Which smallholder farmers benefit most from biomass production for food and biofuel? The case of Gondola district, central Mozambique. *Biomass and Bioenergy*, 83, 257-268.
- Meral, U.B. (2019). Ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) Bitkisinin Önemi ve Üretimine Genel Bir Bakış. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 2(2): p. 58-71.
- Öztürk, F., Yalçın, M., Dıraman, H. (2009). An Overview On The Olive Oil Economy Of Turkey. *Electron J Food Technol*, 12: 37-53.
- Panzaru, R. L. ve Medelete, D. M. (2021). Regional Price Situation for Sunflower in Romania (2014-2018). *Scientific Papers: Management, Economic Engineering in Agriculture & Rural Development*, 21(1).
- Popescu, A. (2012). Research regarding oil seeds crops development in Romania in the EU context. Professional paper, *Economics of Agriculture*, 1/2012, UDC: 633.85(498):EU, pp. 129-137.
- Popescu, A. (2020). Oilseeds crops: sunflower, rape and soybean cultivated surface and production in Romania in the period 2010-2019 and forecast for 2020-2024 horizon. *Scientific Papers: Management, Economic Engineering in Agriculture & Rural Development*, 20(3).
- Slaboch, J., Kotyza, P., Elisová, K. (2018). Self-sufficiency in selected agricultural commodities in Central European countries. In *Agrarian Perspectives XXVII. Food Safety-Food Security, Proceedings of the 27th International Scientific Conference*, 19-20 September 2018, Prague, Czech Republic (pp. 318-325). Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Economics and Management.
- Soare, E. ve Chiurciu, I. A. (2018). Considerations concerning worldwide production and marketing of sunflower seeds. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 18(3), 421-427.
- Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE). (2021). Ayçiçeği Tarım Ürünleri Piyasa Raporu, Ocak 2021.
- Taşkaya, T.B. ve Uçurum, İ.B. (2012). Türkiye’de Bitkisel Yağ Açığı, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, Tepge Bakış, 14 (2), 1-8.

- Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB). (2021). Tarım Ürünleri Piyasaları Ayçiçeği Raporu, Tarımsal Ekonomi ve Araştırma Enstitüsü Ürün No: BÜ-02.
- Trade Map. (2021). Sunflower Seed. [https://www.trademap.org/Country\\_SelProductCountry\\_TS.aspx?nvpm=1%7c792%7c%7c%7c%7c151211%7c%7c%7c6%7c1%7c1%7c1%7c2%7c1%7c2%7c1%7c%7c1](https://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvpm=1%7c792%7c%7c%7c%7c151211%7c%7c%7c6%7c1%7c1%7c1%7c2%7c1%7c2%7c1%7c%7c1)
- Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı (TCTB). (2020). 2019 Yılı Ayçiçeği Raporu.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2020). Bitkisel Ürün Denge Tabloları, 2010-2019.
- Tyczewska, A., Woźniak, E., Gracz, J., Kuczyński, J., Twardowski, T. (2018). Towards food security: current state and future prospects of agrobiotechnology. *Trends in biotechnology*, 36(12), 1219-1229.
- Varchenko, O., Svynous, I., Grynchuk, Y., Tkachenko, K., Shust, O. (2018). The strategy of developing agricultural supply chain in terms of food security in Ukraine.
- Vasylieva, N. (2018). Ukrainian agricultural contribution to the world food security: economic problems and prospects. *Montenegrin Journal of Economics*, 14(4), 215-224.
- Vilvert, E., Lana, M., Zander, P., Sieber, S. (2018). Multi-model approach for assessing the sunflower food value chain in Tanzania. *Agricultural Systems*, 159, 103-110.
- Vural, H. (2012). Tarım ve gıda ekonomisi istatistiği. Bursa: Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları, (107).
- World Food Summit (WFS). (1996). Rome Declaration on World Food Security.
- Yılmaz, A., Yılmaz, H., Arslan, Y., Çiftçi, V. & Baloch, F. S. (2021). Ülkemizde Alternatif Yağ Bitkilerinin Durumu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (22), 93-100.





# Sızdırmazlık Elemanlarının Sürtünmesinin Ağır Hizmet Araçlarının Tahrik Akslarının Verimliliği Üzerindeki Etkisi

Hasan Kasım<sup>1\*</sup>, Barış Engin<sup>2</sup>, İsmail Saraç<sup>3</sup>,

<sup>1\*</sup> Emsa Nano Teknoloji Enerji San. Ve Tic. A.Ş., Bursa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3024-5207), [hasankasim@emsaglobal.com](mailto:hasankasim@emsaglobal.com)

<sup>2</sup> SKT Yedek Parça Makina San. Ve Tic. A.Ş, R&D Center, Bursa, Turkey, (ORCID: xxx-xxxx-xxxx-xxxx), [barisengin@skt.com.tr](mailto:barisengin@skt.com.tr)

<sup>3</sup> SKT Yedek Parça Makina San. Ve Tic. A.Ş, R&D Center, Bursa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8382-3461), [ismailsarac@skt.com.tr](mailto:ismailsarac@skt.com.tr)

(İlk Geliş Tarihi 18 Kasım 2021 ve Kabul Tarihi 16 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1025469)

**ATIF/REFERENCE:** Kasım, H., Engin, B., Saraç, İ. (2021). Sızdırmazlık Elemanlarının Sürtünmesinin Ağır Hizmet Araçlarının Tahrik Akslarının Verimliliği Üzerindeki Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 655-660.

## Öz

Bu araştırmanın temel amacı şantiye kamyonlarında kullanılan tahrik akslarının enerji verimliliğini arttırmaktır. Bu çalışma kapsamında tasarlanan pinyon dişlisinin dönme sırasındaki tork değerlerine ait veriler özel olarak geliştirilen tork ölçüm cihazıyla belirlenerek sıcaklık ve keçe hızının sürtünmeden kaynaklanan tork üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çeşitli kaplamalar deneyerek sürtünme kaynaklı tork azaltılmaya çalışılmıştır. Pinyon keçe üzerindeki tork değerleri teorik olarak hesaplanmış ve deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak sistemdeki tork kayıpları analiz edilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda 90°C'ye kadar devir sayısının artmasıyla %25 civarında tork artışı olmuş, 90°C'den sonra malzemenin fiziksel özelliklerinde değişme meydana geldiği için tork değeri %30 civarında azalmış göstermiştir. Çalışmamız radyal kuvvet, sıcaklık, tork ve dönüş hızı arasında bir korelasyon kurulması yönünde devam edecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Kauçuk, Döner Mil Keçesi, Sürtünme, Tork Ölçümü, Sızdırmazlık Elemanı, Radyal Kuvvet.

## Effect of Seal Friction on The Efficiency of Drive Axles of Heavy Duty Vehicles

### Abstract

The main purpose of this research is to increase energy efficiency in drive axles used in construction site trucks. In this study, the data of the torque values of the pinion gear designed during rotation were collected with specially developed torque measurement equipment and the effect of temperature and speed drop on torque caused by friction was investigated. Various coatings have been tried to reduce friction-induced torque. Torque on pinion seal was calculated theoretically and compared with experimental data. As a result, torque losses in the system were evaluated. As a result of the evaluation, there was a 25% increase in torque with an increase in rotation speed up to 90 °C. After 90 °C, due to the change in the physical properties of the material, the torque value decreased by 30%. Our study will continue towards establishing a correlation between radial force, temperature, torque and rotational speed.

Keywords: Rubber, Rotary Shaft Seal, Friction, Torque Measurement, Sealing Element, Radial Force.

\* Corresponding Author: [hskasim@gmail.com](mailto:hskasim@gmail.com)

## 1. Giriş

1900 yıllardan beri elastomer dudaklı keçeler kamyon endüstrisinde geniş kullanım alanına sahiptir (Horve 1996). Bu sızdırmazlık elemanları motor, transmisyon, çeşitli makine, aks ve tekerlek sistemlerinde kullanılmakta olup yağlama tarafı ile hava tarafı arasında mikron mertebesinde bir yağ filmi ile set oluşturarak yağın dışarı sızması ya da iç kısma havadaki toz, kir, çamurun girmesini engellemektedirler (El Gadari ve ark., 2015). Bu sebepten dolayı keçe firmaları elastomer dudaklı keçeleri geliştirmeye yoğun bir mesai harcamaktadırlar. Keçe üreticileri keçe malzemesi, keçe geometrisi, keçeden kaynaklı sürtünme kaybı, mil yüzey pürüzlülüğü ve çalışma koşulları üzerine odaklanmaktadır. Bu Ar-Ge çalışmaları sayesinde keçe dudağında oluşan akış mekanizması açıklanmaya çalışılmaktadır.

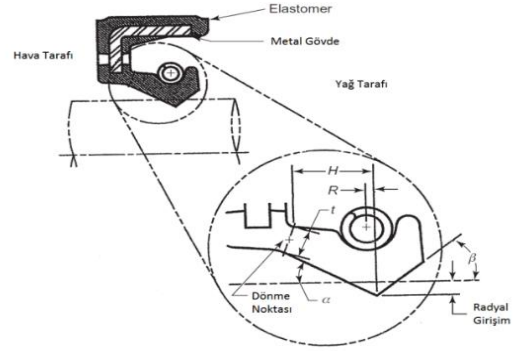
Normal koşullar altında döner mil keçeleri sınır yağlama şartlarında çalışmaktadır. İlk çalışma esnasında keçe dudağı ve mil yüzeyi arasında kuru yağlama oluşur. Keçe dudağı, mil ve yağlayıcı rejime girdiği durumda sistem sınır yağlama halindedir. Sınır yağlama halinde dudağın altında yağ filmi oluşmaktadır. Sınır yağlama durumunda olan sistem yük taşıma mekanizmasını destekler ve sızdırmazlık mekanizmasını sağlar (Shen ve ark., 2007; Salant 1992).

Geçmiş yüzyıllarda keçe sürtünme kaybı ve düşük sürtünme katsayılı keçeler üzerine çalışılmış olmasına rağmen kayda değer yeni bir bilgiye rastlanılmamıştır. Döner dudaklı keçenin sürtünmesini etkileyen parametreler arasında hız ve sıcaklığa ek olarak, keçe malzemesi, dudak tasarımı, mil çapı, yağ ve mil yüzey yapısının etkileri değerlendirilmiş, milin yüzey pürüzlülüğü, sızdırmazlık dudağının tasarımı ve kullanılan yağ tipinin etkisinin en büyük olduğu tespit edilmiştir (Johnston ve ark., 1995).

Döner dudaklı keçelerde oluşan sürtünme kaynaklı verim kaybının giderilmesi için keçe üreticileri ve araştırmacılar birçok çalışma gerçekleştirmişlerdir (Frölich ve ark., 2014). Farklı özelliklerde yağların ve yağ katkı maddelerinin keçe sürtünme kaybına etkisi de incelemekte olup düşük viskoziteli motor yağlarının sızıntısız çalışması nedeniyle motor yağ keçesinin sürtünme kaybını azaltarak yakıt ekonomisini iyileştirmek amacıyla deneylerde kullanılmaktadır (Kim ve ark., 2008; Kanzaki ve ark., 1989). Aks sistemi üzerinde gerçekleştirilecek %0,5-3 arasında bir iyileştirme toplam araç üzerindeki iyileştirmeler açısından önemli bir paya sahip olacaktır.

Toplam enerji kayıpları dört ana başlık altında toplanabilir. Bunlar yağ çalkalaması, dişli sınır yağlaması, rulmanlar ve keçelerdir. Ağır tonajlı araçların akslarında sürtünmeden dolayı %5-15 arasında enerji kaybı meydana gelmektedir. Yüksek sürtünme aynı zamanda yüksek ısı oluşturmakta ve keçe ömrünü kısaltmaktadır. Yapılan çalışmalar aşınmanın keçe ve mil arasındaki açık bir ilişkiye bağlı olduğunu göstermiştir. Meydana gelen shaft aşınmasından elde edilen bulgular ile yağlayıcı-elastomer etkileşiminin karmaşık kombinasyonununun ait etkileri inceleyen hipotezler geliştirilmiştir (Burkhart ve ark., 2020).

Döner mil keçelerinin en önemli fonksiyonu yağın dışarı çıkmasını engellemek olmakla birlikte keçe ömrü ve sürtünme diğer ana performans parametreleri olarak gelmektedir. Şekil 1 de standart bir döner mil keçesi görülmektedir.



Şekil 1. Döner mil keçesi kesit görüntüsü

Döner mil keçelerinin sağladığı önemli uygulama avantajlarının başında düşük maliyet, kolay montaj, küçük montaj boşluğu ve efektif sızdırmazlık gelmektedir. Döner mil keçelerinin ömür dayanımı ise kaçak ve yağlama gerekliliğine bağlıdır. Bununla birlikte, mil ve keçe dudağı arasındaki bağıl hareketin hidrodinamik kaldırma yükü ve sızdırmazlık performansları üzerinde önemli etkileri vardır. Sürtünme torkunu azaltmak ve ters pompalamayı iyileştirmek için yeni nesil dokulu miller ortaya çıkmıştır. Şaftın dudak yüzeyinden daha yüksek bir hızda hareket ettirilmesinin, shaft hızının daha zayıf olduğu durumlara kıyasla önemli bir ters pompalama üretebileceği ve sürtünme torkunu önemli ölçüde azaltılabileceği gösterilmiştir (Lahjouji ve ark., 2019; Guo ve ark., 2014).

Bununla birlikte artan hız, önemli sürtünme kayıplarına neden olmakta ve sistemin verimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Elastomer kayma yüzeyinin mikro yapısının geliştirilmesi ve yüzey işlemine dayanan radyal shaft keçelerinin sürtünme kayıplarını azaltmak için çeşitli yöntemler geliştirilmektedir (Keller ve ark., 2020; Balyakin ve ark., 2020). Yapılan araştırma çalışmalarında sistemde kullanılan çalışma yağı içerisindeki katkı maddeleri ve mil üzerindeki kaplamanın, sürtünme kayıplarının önemli ölçüde azaltılabildiğini ve sürtünme çiftinin aşınma direncini artırabildiğini göstermektedir (Votter ve ark., 1999).

Diğer tribolojik sistemler gibi döner mil keçesi ve mil sistemi fiyatının ucuz olmasına rağmen kısmen kompleks bir sistemdir. Sızdırmazlık olarak adlandırılan döner mil keçesi performansı keçe tasarımı, keçe malzemesi, mil malzemesi ve çalışma koşulları gibi parametrelere bağlıdır. Standart bir keçe tribolojik sisteminde üç ana bileşen vardır; keçe, mil ve yağ. Keçe sistemlerinde optimum tasarımı sağlamak oldukça zordur. Ancak üç ana etkenin iş birliği içinde çalışması durumunda optimum tasarım sağlanır (Flitney 2014).

Bu çalışmanın amaçları arasında keçe sürtünme torklarının ölçülmesi, tekerlek ve pinyon dişlilerinin sürtünme datalarının toplanması bulunmakta olup çalışmada aşağıdaki gibi spesifik konuların açıklığa kavuşturulması amaçlanmıştır:

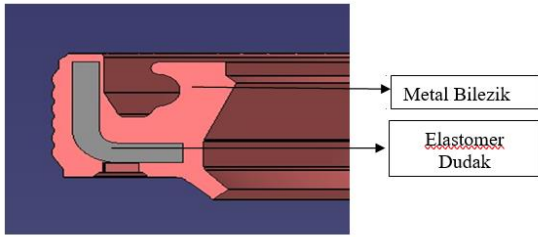
1. Keçe Sürtünme Torku Test Cihazı Geliştirilmesi,
2. Pinyon keçesi ve tekerlek keçesi sürtünme datalarının toplanması,
3. Kaplamanın keçe sürtünmesi üzerindeki etkisi,
4. Pinyon keçesinin sürtünme torkunun teorik olarak hesaplanması ve test datasıyla karşılaştırılması,
5. Keçe sürtünme torkunun tüm sistemle ilişkisinin incelenmesi,

6. Döner mil keçelerinin çalışma koşulları göz önüne alınarak tork, devir sayısı (Rpm) ve sıcaklık değerlerinin birbiriyle ilişkilerinin incelenmesi.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Döner Mil Keçesi

Pinyon keçesi çalışma şartları göz önüne alınarak mil çapı 40 mm, keçe yuvası çapı 70 mm ve yuva derinliği 8 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Tekerlek keçesi olarak kullanılacak keçenin ölçüsü mil çapı 105 mm, keçe yuvası çapı 125 mm ve yuva derinliği 15 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Her iki keçede toza ve çamura maruz kalacağı için toz dudaklı şekilde tasarlanmıştır. Toz dudak sıklıkları 0.2 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 2 de pinyon keçeğe ait kesit görüntüsü görülmektedir.



Şekil 2. Pinyon keçenin kesit görüntüsü

### 2.2. Keçe Sürtünme Tork Test Sistemi

Şekil 3 de gösterilen döner mil keçesi tork test cihazı tasarlanıp üretilmiştir. Döner mil keçesi test sistemleri keçe kaçaklarını görmek ve keçe ömrünü test etmek için tasarlanmıştır. Keçe test cihazı hız, sıcaklık ve tork kontrol kabiliyetine sahiptir. Hız, 10 Rpm den 10000 Rpm e kadar ulaşmaktadır. Sıcaklık, ortam sıcaklığından +200 °C e kadar ulaşmaktadır. Maksimum tork ölçme kabiliyeti 20Nm dir. Test esnasında kullanılacak mil aralığı 16mm den 250 mm'ye kadardır. Ayrıca test sistemi dinamik salgı, eksantrik bağlama gibi koşullara da uygundur.



Şekil 3. Döner mil keçesi tork ölçüm test cihazları

### 2.3. Pinyon Keçe Sürtünme Tork Test Prosedürü

Keçe sürtünme testlerinde şantiye kamyonlarında kullanılan SAE 75W-90 sentetik yağ kullanılmıştır. Test esnasında mil seviyesinin ortasına gelecek şekilde yağ kullanılmıştır. Keçe sürtünme tork değerleri 2000 Rpm, 80°C sıcaklık ve 24 saatlik ön çalışmadan sonra alınmıştır. Ön çalışma sonrası 1000 Rpm, 1500 Rpm, 2000 Rpm ve 2500 Rpm devirlerinde dört farklı

sıcaklıkta (70° C, 80° C, 90° C ve 100° C) keçe sürtünme torkları ölçülmüştür. Örnek bir test aşaması aşağıdaki gibidir;

1. Adım 80°C'de 2000 Rpm 24 saatlik ön çalışma
2. Adım 70°C'de 1000 Rpm'den 2500 Rpm'e kadar sürtünme torku ölçümü
3. Adım 80°C de 1000 Rpm'den 2500 Rpm'e kadar sürtünme torku ölçümü
4. Adım 90°C de 1000 Rpm'den 2500 Rpm'e kadar sürtünme torku ölçümü
5. Adım 100°C de 1000 Rpm'den 2500 Rpm'e kadar sürtünme torku ölçümü

Her devir değişiminde stabil olması için 10 dakika beklenmiştir. Her sıcaklık değişiminde stabil olunması için 2 saat beklenmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Pinyon Keçe Sürtünme Test Verileri

Pinyon Keçe Sürtünme Test Verilerinin elde edilmesinde Türkiye'nin öncü keçe firması SKT tarafından tasarlanan pinyon keçesi kullanılmıştır. Pinyon keçe çapı 76.2 mm'dir. Mil yüzey pürüzlülüğü Ra=0.37 µm, Rq=0.46 µm ve Rz=3.93 µm olarak Surfcom Flex Cihazında ölçülmüştür. Bu çalışmadaki pürüzlülük ortalaması Ra, pürüzlülük profili koordinatlarının mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Ortalama karekök (RMS) pürüzlülüğü Rq, pürüzlülük profili yüksekliklerin karelerinin toplamının karekök ortalamasıdır. Rz ise örnekleme uzunluğundaki beş en yüksek tepe ile beş en derin çukur arasındaki mesafelerin ortalamasıdır.

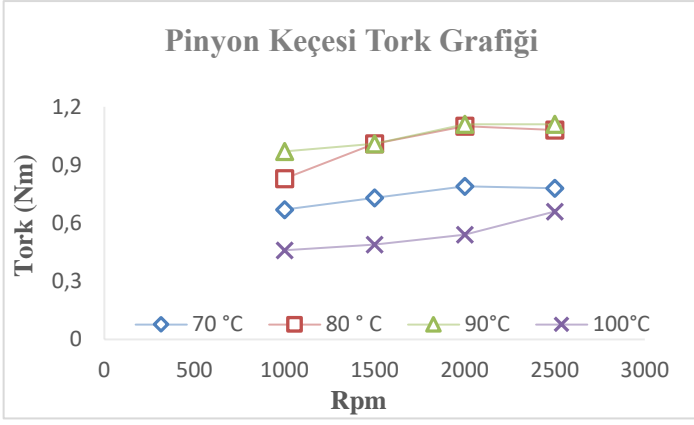
Döner mil keçelerinin çalışma millerinin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin DIN 3761-2 standardında Ra=0,2-0,8µm ve Rz =1-4µm olması gerekmektedir.

Pinyon keçe sürtünme tork test verileri Tablo 1 de verilmiştir. Tablo 1'den anlaşıldığı üzere 70°C'den 90 °C'ye artırılmasıyla tork değerlerinin de arttığı görülmektedir. Fakat 100°C'de pinyon keçenin tork değeri en düşüktür. Bu durum 100°C'deki test yağının viskozite değerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca dönüş hızı arttıkça keçe sürtünme tork değeri artmaktadır. Fakat 2000 Rpm ve 100°C'de keçe sürtünme tork değeri stabil hale gelmektedir.

Tablo 1. Pinyon keçe sürtünme tork verileri

Devir Sayısı (rpm)	Sıcaklığa Bağlı Tork Değişimi (Nm)			
	70 °C	80 °C	90 °C	100 °C
1000	0,67	0,83	0,97	0,46
1500	0,73	1,01	1,01	0,49
2000	0,79	1,10	1,11	0,54
2500	0,78	1,08	1,11	0,66

Şekil 4'de devir sayısı ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak pinyon keçesi sürtünme torku verileri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



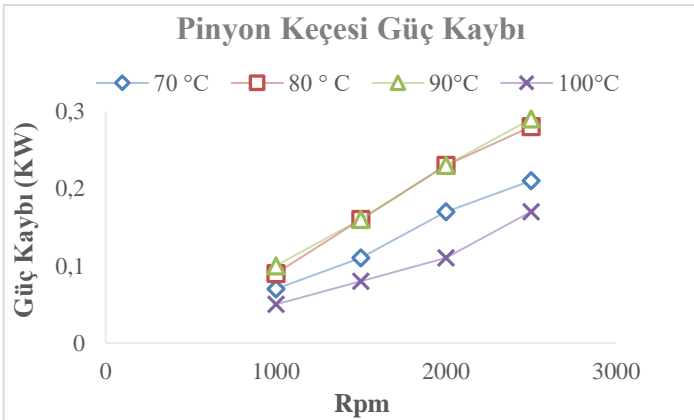
Şekil 4. Devir sayısı ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak pinyon keçesi sürtünme torku verileri

Tablo 2’de test hızı ve sıcaklığının bir fonksiyonu olarak sürtünmeden kaynaklanan pinyon keçesi güç kaybına ait değerler verilmiştir.

Tablo 2. Pinyon keçe güç kaybı verileri

Devir Sayısı (rpm)	Sıcaklığa Bağlı Güç Kaybı (KW)			
	70 °C	80 °C	90 °C	100 °C
1000	0,07	0,09	0,10	0,05
1500	0,11	0,16	0,16	0,08
2000	0,17	0,23	0,23	0,11
2500	0,21	0,28	0,29	0,17

Keçe sürtünme torku dataları ölçülmüş, güç kaybı verileri, sürtünme torku ve dönme hızına bağlı olarak hesaplanmıştır. Pinyon keçe güç kaybı hız arttıkça artmaktadır. 100°C’de keçe güç kaybı minimum seviyededir. 80°C’de ve 90°C’de pinyon keçe güç kaybı maksimum noktada seyretmektedir. Şekil 5’de pinyon keçesi güç kaybı grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5. Devir sayısı ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak pinyon keçesi güç kaybı verileri

### 3.2. Radyal Kuvvet-Pinyon Keçe Sürtünme Tork İlişkisi

Döner mil keçelerinin sızdırmazlık görevini yerine getirmede en önemli parametrelerden biri radyal kuvvettir. Keçe radyal kuvveti ve keçe sürtünme tork ölçümleri arasındaki ilişkiyi görebilmek için çalışmamızda 5 farklı pinyon keçe kullanılmıştır. Pinyon keçe radyal kuvvetleri SKT firmasının kendi ürettiği cihazdan şekil 6’da görüldüğü gibi ölçülmüştür. Radyal yük ölçüm cihazı üst taşıyıcı ve destek tablasından oluşmaktadır. Tablanın bir bölgesine kuvvet sensörleri yerleştirilmiştir. Pinyon keçe üst taşıyıcı yer alan bölgeye yerleştirildiği zaman alt tabladaki kuvvet sensörü etkilenir ve radyal kuvvet ekrandan okunur.



Şekil 6. Pinyon keçesi radyal kuvvet ölçüm cihazı

Keçe sürtünme torku 2000 Rpm ve 80°C’de 24 saatlik ön çalışmadan sonra 2000 Rpm’de 100°C’de ölçülmüştür. Pinyon keçe radyal yük-tork ilişkisi Tablo 3’te özetlenmiştir. Tablo 3’te görüldüğü üzere pinyon keçe radyal yük sapması ve tork sapması oldukça düşüktür.

Tablo 3. Pinyon keçe radyal yük ve sürtünme torku.

Keçe No	Yük (N)	Tork (Nm)
1	31,70	0,55
2	36,10	0,53
3	33,00	0,63
4	31,20	0,47
5	29,60	0,49
Ortalama	32,30	0,53
Standart Sapma	2,40	0,06

### 3.3. Kaplamaların Pinyon Keçe Sürtünme Tork Değerine Etkisi

Pinyon keçe sürtünmesini azaltmak için birkaç farklı çeşit polimer kaplaması uygulanarak keçeler test edilmiştir. XYLAN kaplaması milin üzerine uygulanırken diğer kaplamalar keçe dudağına uygulanmıştır. Sürtünme tork ölçümleri ön alıştırma test periyodu tamamlandıktan sonra yapılmıştır. Test dataları



Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'ten anlaşılacağı üzere sadece kaplama, 2 nolu keçenin sürtünme tork değerlerini düşürmüştür. Diğer kaplamalar keçe sürtünme tork değerini düşürecek bir etki oluşturmamıştır.

Tablo 4. Kaplama uygulanan pinyon keçe sürtünme torku test verileri

Keçe No	Tork (Nm)	Yüzde Değişim
Kaplamasız Keçe	0,53	-
Xylan Kaplamalı Mil	0,84	+ 58%
Dudak Kaplaması -1-	0,66	+ 25%
Dudak Kaplaması -2-	0,43	-19 %
Dudak Kaplaması -3-	0,56	Aynı
Dudak Kaplaması -4-	0,51	Aynı

Bu kaplama denemelerinden beklenen düzeyde efektif bir sonuç alınamamıştır. Bu sebeple diğer teknolojilerin araştırılmasına devam edilecektir. Keçe üreticileri keçe tasarımı, keçe malzemeleri ve keçe dudak desenleri üzerine uzun yıllardan beri çalışmaktadır.

### 3.4. Aks Keçesi Sürtünme Tork Değerleri

Aks keçesi sürtünme tork testleri 500 Rpm, 80°C'de SAE 75W-90 yağ kullanılarak yapılmıştır. Ön alıştırma testi 80°C'de 500 Rpm devir altında 24 saat olarak yapılmıştır. Aks keçesinin çalıştığı mil çapı 127 mm dir. Testler 6 tekrar olarak yapılmıştır. Aks keçesi sürtünme torku ve güç kaybı Tablo 5'te gösterilmiştir. Keçe sürtünme tork datası ölçüldükten sonra güç kaybı hesabı, sürtünme torkuna ve dönme hızına bağlı olarak hesaplanmıştır. Tablo 5'ten anlaşıldığı üzere aks keçesinin sürtünme tork değeri pinyon keçeye göre daha yüksektir. Aks keçesinin güç kaybı ise pinyon keçeye göre daha az olmaktadır. Bunun sebebi de aks keçesinin dönüş hızının pinyon keçeye göre daha düşük olmasıdır.

Tablo 5. Aks keçesi sürtünme torku ve güç kaybı test verileri

Test No	Tork(Nm)	Güç Kaybı (KW)
1	1,61	0,080
2	1,71	0,085
3	2,32	0,115
4	2,39	0,119
5	2,00	0,100
6	1,40	0,070
Ortalama	1,91	0,090
Standart Sapma	0,4	0,020

### 3.5. Pinyon Keçesi Sürtünme Tork Değeri Hesaplamaları ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması

Bu bölümde pinyon keçe sürtünme tork değeri hesaplanmış ve 2000 Rpm ve 100°C'de yapılmış test sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Keçe sürtünme torku (T) aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır:

$$T = \mu Rk r + 2 \pi \left(\frac{w}{h}\right) \eta u r^2 \quad (1)$$

Burada;

T : Keçe Sürtünme Torku (Nm)

$\mu$  : Sürtünme Katsayısı

Rk: Radyal Yük (N)

r : Mil yarıçapı (m)

w : Yağlanmış Kontak Yüzeyi (m)

h : Ortalama film kalınlığı (m)

$\eta$  : Mutlak viskozite (Ns/m<sup>2</sup>)

u : Mil Hızı (m/s)

İlk terim katı katıya kontak durumundan oluşan sürtünme tork değeri olup ikinci terim ise Newton Yağ viskoz sürtünme terimidir. Keçe sürtünme tork değerinin yukarıdaki denklemden 2000 Rpm ve 100°C'de hesaplanması durumunda test sonuçlarına göre sürtünme torku 0,53 Nm'dir.

$r = 0,0381$  m,  $Rk = 32$  N,  $W = 0,1$  mm,  $h = 1$   $\mu$ m,  $u = 8$  m/s ve 100°C'de yoğunluk 0,878 gr/cm<sup>3</sup>'tür.

$$\eta = 0,0013 \text{ N S/m}^2$$

Verilerin yerine koyulması sonucunda Newton Viskoz Torku 0,0095 Nm ve Sürtünme katsayısının 0,37 civarında olduğu tahmin edilmektedir. Veriler eşliğinde yapılan hesaplamalar sonucunda sürtünme torku 0,46 Nm olarak belirlenirken test datalarında bu değer 0,53 Nm olduğu görülmüştür. Standart sapması ise 0.07 Nm'dir.

Tablo 6'da teorik hesaplamalar sonucu ve deneylerden elde edilmiş tork değerleri kıyaslanmıştır.

Tablo 6. Tork Değerleri

Teorik Tork (Nm)	Deneysel Tork (Nm)	Standart Sapma
0,46	0,53	0,07
0,43	0,47	0,04
0,49	0,56	0,07
0,45	0,51	0,06
0,44	0,51	0,07

Yapılan beş deney sonucunda maksimum standart sapma 0,07 Nm olarak bulunmuştur.

## 4. Sonuç

1. Ağır şartlarda çalışan kamyonların 2000 Rpm ve 100°C'de pinyon keçe sürtünmeleri 0,53 Nm ve standart sapması 0,06 Nm olarak bulunmuştur.
2. Aks keçesinin sürtünme torku ise 500 Rpm ve 80°C'de 1,91 Nm ve standart sapması 0.4 Nm'dir.
3. Hem dönüş hızı hem de sıcaklık keçe sürtünme torklarını etkilemektedir.
4. Polimer kaplamaları keçe sürtünme torklarını azaltacak yönde etki göstermemiştir.
5. Johnston ve Vogt tarafından geliştirilen metotla hesaplanan keçe sürtünme tork değerleri, test sonuçlarıyla uyum göstermiştir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma için gerekli olan kompozit numunelerin ve test ekipmanının kullanımını sağlayan SKT Yedek Parça ve Makina San. ve Tic. A.Ş. çalışanlarına teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Horve, L. (1996). Shaft Seals for Dynamic Applications (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780367803100>
- El Gadari, M., Fatu, A., & Hajjam, M. (2015). Shaft roughness effect on elasto-hydrodynamic lubrication of rotary lip seals: Experimentation and numerical simulation. *Tribology International*, 88, 218–227.
- Shen, D., & Salant, R. F. (2007). An unsteady mixed soft EHL model, with application to a rotary lip seal. *Tribology International*, 40(4), 646–651.
- Salant R.F. (1992) On The Sealing Mechanism Of Lip Seals Containing Microundulations. In: Nau B.S. (eds) Fluid Sealing. Fluid Mechanics and its Applications, vol 8. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-2412-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-011-2412-6_4)
- Johnston, D.E., & Vogt, R. (1995). Rotary shaft seal friction, the influence of design, material, oil and shaft surface. In SAE Technical Papers. SAE International.
- Frölich, D., Magyar, B., & Sauer, B. (2014). A comprehensive model of wear, friction and contact temperature in radial shaft seals. *Wear*, 311(1–2), 71–80.
- Kim, H.G., Jeon, S. I. (2008). Effect on friction of engine oil seal with engine oil viscosity. *International Journal of Automotive Technology*, 9(5), 601–606.
- Kanzaki, Y., Kanno, T., & Kawahara, Y. (1989). A study of blistering phenomenon on rubber seals.
- Burkhart, C., Emrich, S., Kopnarski, M., Sauer, B. (2020). Excessive shaft wear due to radial shaft seals in lubricated environment. Part I: Analysis and mechanisms. *Wear*, 460–461.
- Lahjouji, I., El Gadari, M., & Radouani, M. (2019). Numerical investigation of grooved shaft effects on the rotary lip seal performance with relative lip motion. *Lubricants*, 7(2).
- Guo, F., Jia, X., Gao, Z., Wang, Y. (2014). The effect of texture on the shaft surface on the sealing performance of radial lip seals. *Science China: Physics, Mechanics and Astronomy*, 57(7), 1343–1351.
- Keller, D., Jacobs, G., Neumann, S. (2020). Development of a low-friction radial shaft seal: Using cfd simulations to optimise the microstructured sealing lip. *Lubricants*, 8(4).

- Balyakin, V. B., Falaleev, S. V. (2020). Methods and Means of Reducing Friction Torque in Face Seals. *Journal of Friction and Wear*, 41(5), 447–452.
- Votter, M., Wollesen, V. (1999). New tribotechnical materials for the friction pair radial lip seal/shaft. *Industrial Lubrication and Tribology*, 51(5), 233–238.
- Flitney, R. (2014). *Seals and Sealing Handbook: Sixth Edition*. Seals and Sealing Handbook: Sixth Edition (pp. 1–633). Elsevier Inc.



# Ampirik Kip Ayırıştırma Yöntemi ile Elde Edilen İçsel Kip Fonksiyonlarının Derin Öğrenme Tabanlı Rüzgâr Hızı Tahmin Modeli Başarımına Etkisinin Belirlenmesi

Caner Barış<sup>1</sup>, Ahmed Cemil Bilgin<sup>2</sup>, Aytaç Altan<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, Türkiye  
(ORCID: 0000-0003-0869-2788), [caner.baris@fbe.karaelmas.edu.tr](mailto:caner.baris@fbe.karaelmas.edu.tr)

<sup>2</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, Türkiye  
(ORCID: 0000-0001-7819-8940), [ahmedc.bilgin@fbe.karaelmas.edu.tr](mailto:ahmedc.bilgin@fbe.karaelmas.edu.tr)

<sup>3\*</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye  
(ORCID: 0000-0001-7923-4528), [aytacaltan@beun.edu.tr](mailto:aytacaltan@beun.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 21 Kasım 2021 ve Kabul Tarihi 25 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1026742)

**ATIF/REFERENCE:** Barış, C., Bilgin, A. C., & Altan, A. (2021). Ampirik Kip Ayırıştırma Yöntemi ile Elde Edilen İçsel Kip Fonksiyonlarının Derin Öğrenme Tabanlı Rüzgâr Hızı Tahmin Modeli Başarımına Etkisinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 661-669.

## Öz

Son yıllarda küresel anlamda etkisini yoğun şekilde gösteren iklim değişikliğinin temelinde fosil yakıt tüketimi kaynaklı sera etkisinin kuvvetlenmesinin yer aldığı bilinmektedir. İklim değişikliği neticesinde canlılar için hayati önem taşıyan su kaynaklarının azalacağı, ekolojik dengenin bozularak çölleşme ve kuraklığın artacağı öngörülmektedir. Bu sorunla başa çıkılabilmesi için fosil yakıt tüketiminin azaltılması ve enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanması gerekmektedir. Bu nedenle, temiz ve yenilenebilir bir enerji türü olan rüzgâr enerjisine olan ilgi dünya çapında her geçen gün artmaktadır. Bununla birlikte, rüzgâr hızının güçlü rastgeleliği ve durağan olmaması rüzgâr gücünün elektrik şebekesine entegre edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek için rüzgâr hızının güvenilir ve yüksek doğrulukla tahmin edilmesi kritik önem arz etmektedir. Bu çalışmada, doğrusal olmayan dinamiklere sahip rüzgâr hızının yüksek doğrulukla tahmin edilebilmesi için ampirik kip ayırıştırma ve derin öğrenme yöntemlerinden uzun-kısa süreli bellek tekniklerini içeren melez modeldeki içsel kip fonksiyonlarının rüzgâr hızı tahmin performansı üzerindeki etkileri incelenmektedir. Türkiye'nin en yüksek rüzgâr enerji potansiyeline sahip bölgeleri arasında yer alan Marmara bölgesindeki Bandırma meteoroloji istasyonundan toplanan rüzgâr hızı verileri ampirik kip ayırıştırma tekniği ile içsel kip fonksiyonlarına ayrıştırılmaktadır. Her bir içsel kip fonksiyonunun tahmin modeli üzerindeki başarımının belirlenebilmesi için sırasıyla her bir içsel kip fonksiyonu derin öğrenme modeline dahil edilmeden tahmin modellerinin performansları ölçülmektedir. Tahmin modellerinin başarımları istatistiksel performans metriklerine göre hesaplanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Ampirik kip ayırıştırma, İçsel kip fonksiyonu, Rüzgâr hızı tahmini, Derin öğrenme, Uzun-kısa süreli bellek.

## Determining the Effect of Intrinsic Mode Functions Obtained by the Empirical Mode Decomposition on the Performance of Deep Learning based Wind Speed Prediction Model

### Abstract

In recent years, it is known that the strengthening of the greenhouse effect caused by fossil fuel consumption is at the root of climate change, which has had an intense impact on the global scale. As a result of climate change, it is predicted that water resources, which are vital for living things, will decrease, and the ecological balance will deteriorate and desertification and drought will increase. In order to cope with this problem, fossil fuel consumption should be reduced and energy needs should be met with renewable energy sources. Therefore, the interest in wind energy, which is a clean and renewable energy type, is increasing day by day around the world. However, the strong randomness and non-stationarity of the wind speed make it difficult to integrate wind power into the electricity

\* Sorumlu Yazar: [aytacaltan@beun.edu.tr](mailto:aytacaltan@beun.edu.tr)

grid. To overcome these challenges, reliable and highly accurate estimation of wind speed is critical. In this study, the effects of intrinsic mode functions in the hybrid model, which includes empirical mode decomposition and long-short-term memory (LSTM) techniques, on wind speed prediction performance are investigated for high accuracy prediction of wind speed, which has nonlinear dynamics. Wind speed data collected from Bandırma meteorology station in the Marmara region, which is among the regions with the highest wind energy potential in Turkey, are decomposed to intrinsic mode functions by empirical mode decomposition technique. To determine the performance of each intrinsic mode function on the wind speed prediction model, the performances of the prediction models are measured without including each intrinsic mode function in the deep learning model, respectively. The performance of prediction models is computed according to statistical performance metrics.

**Keywords:** Empirical mode decomposition, Intrinsic mode function, Wind speed prediction, Deep learning, Long-short term memory (LSTM).

## 1. Giriş

Son on yılda dünyada etkisini yoğun biçimde hissettiren iklim değişikliği ile başa çıkılabilmesi için fosil yakıt tüketiminin azaltılması ve enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanması kaçınılmaz hale gelmiştir (Zhang et al. 2019). Fosil yakıtlara kıyasla temiz bir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisi tüm yenilenebilir enerji üretim kaynaklarının %38'ini oluşturmaktadır olup bu oranın 2021 yılı sonunda %41'e ulaşması beklenmektedir (Statistical Review of World Energy 2021, U.S. Energy Information Administration). Küresel kurulu kapasitesi 2020 yılında 733,3 GW'a ulaşan rüzgâr enerjisinin kayda değer faydalarına rağmen, rüzgâr enerjisi üretimi hala oynaklık, güçlü rastgelelilik ve kesinti ile temsil edilen ve şebeke işletimi üzerinde sağlıklı bir etkiye neden olabilecek zorlu sorunlarla karşı karşıyadır (Chen et al. 2019). Rüzgâr enerjisi üretiminin rüzgâr hızının stokastik yapısı ve iç kararsızlığından etkilendiği bilinmektedir. Bu zorlukların üstesinden gelenebilmesi için rüzgâr enerjisi kullanımı sürecinde rüzgâr hızının yüksek doğrulukla tahmini büyük önem taşımaktadır (Altan et al. 2021).

Rüzgâr hızı tahmininde fiziksel, uzaysal-zamansal korelasyon, istatistiksel ve makine öğrenmesi gibi tekli modeller kullanılabilirliği gibi sinyal işleme/ayırıştırma ve tekli/çoklu optimizasyon tekniklerini içeren melez modeller de kullanılabilir (Altan et al. 2021; Hoolohan et al. 2018; Yu et al. 2018; Ma et al. 2020). Atmosferdeki fiziksel süreçlere dayalı olarak rüzgâr hızını tahmin eden fiziksel modeller genellikle bir yığın meteorolojik ve coğrafi parametreye ihtiyaç duyarlar. Bu modeller, uzun vadeli tahminler için iyi bir performans göstermelerine rağmen bilgi gecikmesi nedeniyle kısa vadeli tahminlerde tatmin edici bir performans sergileyemezler (Liu et al. 2012). Uzaysal-zamansal korelasyon modelleri, farklı bölgelerdeki rüzgâr hızları arasındaki çapraz korelasyonları modelleyerek rüzgâr hızını tahmin ederler (Zhao et al. 018). Doğrusal ve doğrusal olmayan teknikleri içeren istatistiksel modeller, geçmiş rüzgâr hızı verilerini kullanarak rüzgâr hızını tahmin etmektedirler ve fiziksel modellere kıyasla kısa vadeli rüzgâr hızı tahmin problemleriyle uğraşmada daha iyi performans sergilemektedirler. İstatistiksel modeller basit ve etkili olmalarına rağmen zaman serilerinin durağan ve doğrusal özellikleri varsayımı altında oluşturulduğundan, doğrusal olmayan ve durağan olmayan rüzgâr hızı zaman serileri üzerinde sınırlı etkiye sahiptirler (Liu et al. 2021). Otoregresif (autoregressive-AR), otoregresif hareketli ortalama (autoregressive moving average-ARMA), otoregresif bütünleşik hareketli ortalama (autoregressive integrated moving average-ARIMA), Kalman filtreleme ve doğrusal regresyon gibi doğrusal teknikler ile doğrusal olmayan otoregresif (nonlinear autoregressive-NAR) ve doğrusal olmayan otoregresif dış kaynaklı (nonlinear autoregressive exogenous-NARX) gibi doğrusal olmayan

teknikler istatistiksel modeller içerisinde kullanılmaktadır (Cadenas et al. 2016; Gauterin et al. 2016; Karasu et al. 2017a; Karasu et al. 2017b). Rüzgâr hızındaki oynaklık, durağan olmama, doğrusal olmayanlık, güçlü rastgelelilik ve belirsizlik gibi içsel dinamikler bu modellerin rüzgâr hızını yüksek doğrulukla tahmin etme performansını sınırlandırmaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelebilmek için sinyal ayırıştırma ve optimizasyon teknikleri ile birlikte makine öğrenmesi ve yapay zekâ yöntemlerini içeren melez modeller geliştirilmektedir (Altan et al. 2021).

Melez modeller içerisinde kullanılan sinyal ayırıştırma teknikleri ile orjinal rüzgâr hızı zaman serileri alt serilere ayrılarak tahmine dayalı özellikler çıkarılmakta ve kararsızlık azaltılmaktadır (Liu and Chen 2019; Ma et al. 2017). Rüzgâr hızı tahmini için oluşturulan melez modeller içerisinde genellikle ampirik kip ayırıştırma (empirical mode decomposition-EMD), topluluk ampirik kip ayırıştırma (ensemble empirical mode decomposition-EEMD), komple topluluk ampirik kip ayırıştırma (complete ensemble empirical mode decomposition with adaptive noise-CEEMDAN), hızlı topluluk ampirik kip ayırıştırma (fast ensemble empirical mode decomposition-FEEMD), ampirik dalgacık dönüşümü (empirical wavelet transform-EWT), dalgacık paketi ayırıştırma (wavelet packet decomposition-WPD), tekil spektrum analizi (singular spectrum analysis-SSA) ve varyasyonel kip ayırıştırma (variational mode decomposition-VMD) teknikleri kullanılmaktadır. Genellikle makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı melez model yapısında kullanılan sinyal ayırıştırma yöntemleri rüzgâr hızı tahmin performansının iyileştirilmesine büyük katkı sağlamaktadırlar (Altan et al. 2021; Ruiz-Aguilar et al. 2021; Chen et al. 2021; Altan and Karasu 2021; Yan et al. 2020). Bununla birlikte, melez model yapısında kullanılan ayırıştırma tekniklerinin tahmin modelinin hesaplama karmaşıklığını arttırdığı bilinmektedir (Liu et al. 2019). Hesaplama verimliliği ve tahmin doğruluğu göz önüne alındığında rüzgâr hızı tahmini için oluşturulan melez model yapısında kullanılan ayırıştırma yöntemi ile elde edilen her bir alt bandın modelin tahmin performansı üzerindeki etkisinin bilinmesi önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, rüzgâr hızının oynaklık, güçlü rastgelelilik, durağan olmama ve belirsizlik gibi doğrusal olmayan davranışları ile başa çıkabilmek için ampirik kip ayırıştırma ve yapay zekâ temelli uzun-kısa süreli bellek (long-short-term memory-LSTM) yöntemlerini içeren melez tahmin modelindeki içsel kip fonksiyonlarının (intrinsic mode functions-IMFs) rüzgâr hızı tahmin performansı üzerindeki etkileri incelenmektedir. Çalışmanın geri kalanı aşağıdaki şekilde organize edilmiştir. Rüzgâr hızı tahmini için oluşturulan tahmin modelinin çerçevesi ikinci bölümde verilmektedir. Üçüncü bölümde, her bir IMF ile elde edilen tahmin modellerinin deneysel sonuçları sunulmakta ve tartışılmaktadır. Son bölümde, çalışmanın sonuçları ve gelecek projeksiyonu vurgulanmaktadır.



## 2. Rüzgâr Hızı Tahmin Modeli

Bu bölümde, çalışmada ele alınan EMD tekniği ile elde edilen her bir IMF'nin derin öğrenme tabanlı melez rüzgâr hızı tahmin modeli performansına etkisinin incelenmesi için sırasıyla her bir IMF'nin derin öğrenme modeline dahil edilmediği rüzgâr hızı tahmin modellerinin oluşturulma çerçevesi anlatılmaktadır. Ayrıca, elde edilen tahmin modellerinin performanslarının kıyaslanabilmesi için tekli LSTM ve tüm IMF'lerin dahil edildiği EMD-LSTM tahmin modelleri açıklanmaktadır.

### 2.1. Ampirik Kip Ayırıştırma

Huang ve arkadaşları tarafından geliştirilen EMD yönteminin temel fikri durağan olmayan sinyali, sinyal durağan olana kadar elemek için Hilbert-Huang dönüşümünü kullanmaktır (Huang et al. 1998). Bu yöntemin temelinde, karmaşıklık durumuna bağlı olarak sinyallerin aynı anda birden fazla farklı eş zamanlı salınım kiplerine sahip olabileceği düşüncesi yer almaktadır. Bu düşünceden yola çıkılarak karmaşık bir sinyal nispeten durağan alt seriler olan ve kolayca modellenen birkaç IMF ve bir kalıntının toplamına ayrıştırılabilmektedir. Burada, IMF'ler karmaşık sinyallerin yerel karakteristik ölçeğine dayanılarak çıkarılmaktadır. EMD'de bir fonksiyon aşağıdaki iki koşulu sağlıyor ise IMF olarak tanımlanmaktadır. Bu koşullar;

- tüm veri kümesinde, ekstremumların toplamı ve sıfır geçişlerin toplamı eşit olmalı veya en fazla bir farklılık göstermelidir;
- yerel maksimum ve minimumlarla tanımlanan zarfın ortalaması herhangi bir noktada sıfır olmalıdır (Chen et al. 2012).

Belirtilen bu iki koşul bir IMF'nin hemen hemen periyodik bir fonksiyon olmasını ve ortalamasının sıfıra ayarlanmasını sağlamaktadır. Belirli bir orijinal rüzgâr hızı zaman serisi olarak bir  $y(t)$  sinyali verildiğinde, EMD algoritması aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$y(t) = \sum_{j=1}^m f_j(t) + R_m(t) \quad (1)$$

burada,  $f_j(t)$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) farklı IMF'leri temsil etmektedir.  $R_m(t)$ ,  $m$ 'nci IMF'nin türetilmesinden sonraki kalıntıyı ifade etmektedir. Her bir IMF'nin çıkarılma süreci şu şekilde açıklanabilir:

(i) Orijinal rüzgâr hızı zaman serisi  $y(t)$ 'nin tüm ekstremumları tanımlanır.

(ii) Bir kübik spline çizgisi kullanılarak tüm yerel maksimumları birleştirerek türetilen üst  $\{y_u(t)\}$  ve alt  $\{y_l(t)\}$  zarflar hesaplanır.

(iii) Elde edilen üst ve alt zarflar yardımıyla ortalama zarf  $m(t) = (y_u(t) + y_l(t))/2$  hesaplanır.

(iv) Orijinal rüzgâr hızı zaman serisi  $y(t)$  ortalama zarf serisinden çıkarılır ve  $d(t) = y(t) - m(t)$  olarak tanımlanır.

(v)  $d(t)$ 'nin özellikleri test edilir:

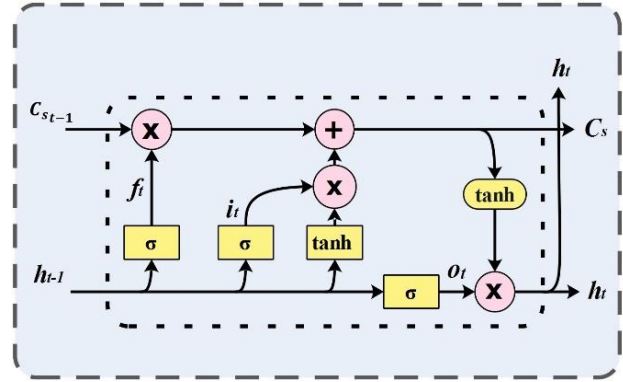
▪  $d(t)$  bir IMF ise, o zaman  $f(t) = d(t)$  ayarlanır.  $d(t)$   $i$ 'nci IMF olarak belirlenir. Bu arada  $y(t)$  değeri kalıntı  $R(t) = y(t) - f(t)$  ile değiştirilir.

▪  $d(t)$  bir IMF değil ise;  $y(t)$ ,  $d(t)$  ile değiştirilir.

(vi)  $R(t)$ , durma şartlarını yerine getirene kadar (i)-(v) adımları tekrarlanır (Huang et al. 2003).

### 2.2. Uzun-Kısa Süreli Bellek

Tekrarlayan sinir ağı (recurrent neural network-RNN), giriş dizilerini alarak iç döngüler yoluyla sıralı kalıpları öğrenen bir ağıdır. Ağ yapısında, ağırlıkların öğrenilmesi için geri yayılım yapılır ve zincir kuralı ile hesaplanan eğimin yayılması sağlanır. Değerler, sigmoid ve tanh fonksiyonları gibi aktivasyon fonksiyonuna geri yayıldığında, eğim aşırı derecede küçük (veya aşırı büyük) hale gelir ve kaybolma (veya gradyanların patlaması) problemiyle karşılaşır. Geri yayılım, uzun menzilli bağımlılığa karşı savunmasızdır. Bu sorunların üstesinden gelinebilmesi için geliştirilen LSTM modelleri uzun ve kısa vadeli bağımlılık problemlerini çözmeye istikrarlı ve güçlü bir yeteneğe sahiptir. LSTM ağı sadece bitişik geçici bilgileri tutmakla kalmaz aynı zamanda uzun vadeli bilgileri de kontrol eder (Hochreiter and Schmidhuber 1997). LSTM ağı mimarisi Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. LSTM ağı mimarisi.

LSTM'ler nöronlar yerine bellek bloklarından oluşmaktadır. Bir LSTM ağına, bir bellek hücresi ile birlikte giriş, çıkış ve unutma kapıları bulunmaktadır. LSTM ağı bu kapılar yardımıyla hücre durumuna bilgi ekleyebilmekte veya çıkarabilmektedir. Bellek hücresi LSTM ağının çekirdeği olarak tanımlanmaktadır.

Giriş verileri giriş kapısının çıkışı ile çarpılarak hücreye biriktirilebilecek yeni bilgiler tanımlanmaktadır. Ağa yayılan bilgiler ağına çıkış verisi ile çıkış geçidinin aktivasyonu ile çarpılarak hesaplanmaktadır. Önceki zamanın hücre durumları, unutma geçidinin aktivasyonu ile çarpılarak hücrenin son durumunun unutulup unutulmayacağı belirlenmektedir. Hücre durumunun güncellenmesi ve LSTM ağı çıktısının hesaplanma prosedürü aşağıdaki işlem adımları takip edilerek gerçekleştirilmektedir (Sainath et al. 2015):

• **hücre durumundan hangi bilgilerin atılacağına karar verme aşaması:**

$x_t$  ve  $h_{t-1}$  değeri alınır ve bir sigmoid fonksiyon

$$f_t = \sigma(w_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (2)$$

aracılığıyla atılıp atılmayacağı tanımlanır. Burada,  $x_t$  girişi ve  $h_{t-1}$  gizli durumu temsil etmektedir.

• **hangi yeni bilginin hücre durumunda depolanacağına belirleme aşaması:**

Hücre durumunda hangi bilgilerin depolanacağına bir sigmoid katman tarafından karar verilir.  $x_t$  ve  $h_{t-1}$  tarafından  $\tanh(\cdot)$

katmanından elde edilen değerler yeni bir aday değer  $\{\tilde{C}_t\}$  olarak tanımlanır.

$$i_t = \sigma(w_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (3)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(w_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_C) \quad (4)$$

• **önceki hücre durumu  $C_{t-1}$ 'yi yeni hücre durumu  $C_t$ 'ye güncelleme aşaması:**

Unutmaya karar verilen bilgileri unutulabilmesi için  $C_{t-1}$  hücre durumu  $f_t$  ile çarpılır. Daha sonra, yeni bir hücre durumu elde etmek için,  $i_t$  ile  $\tilde{C}_t$  çarpılır ve elde edilen terim önceki terime eklenerek yeni hücre durumu  $\{C_t\}$  belirlenir.

$$C_t = f_t \times C_{t-1} + i_t \times \tilde{C}_t \quad (5)$$

• **hangi bilginin çıkış olacağına karar verme aşaması:**

Hangi bilginin hücre durumunda çıkış olacağına bir sigmoid katman tarafından karar verilir.

$$s_t = \sigma(w_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (6)$$

$$h_t = s_t \times \tanh(C_t) \quad (7)$$

Burada,  $b_f, b_i, b_C, b_o$  sapma vektörlerini  $w_f, w_i, w_C, w_o$  ağırlık matrislerini temsil etmektedir.  $\sigma(\cdot)$ , kapı aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılan lojistik sigmoid fonksiyondur ve

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (8)$$

ile tanımlanır.  $\tanh(\cdot)$ , hiperbolik tanjant fonksiyonu olup giriş ve çıkış bloğunun aktivasyon fonksiyonu

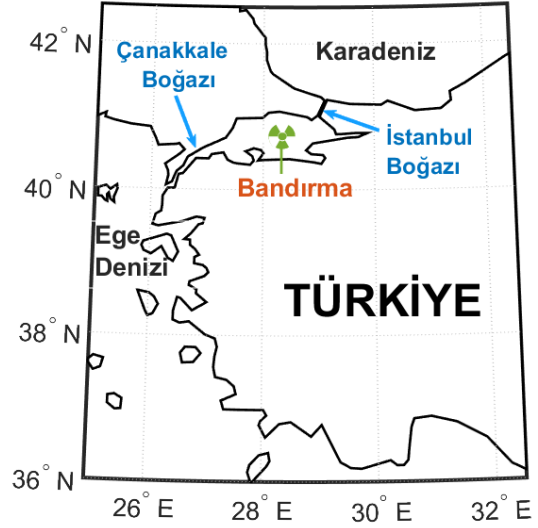
$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir.

### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde, Türkiye'nin en yüksek rüzgâr enerji potansiyeline sahip bölgeleri arasında yer alan Marmara bölgesindeki Bandırma meteoroloji istasyonundan toplanan rüzgâr hızı verileri EMD tekniği ile IMF'lerine ayrıştırılmaktadır. Ayrıştırılan her bir IMF'nin dahil edilmediği toplam 10 melez rüzgâr hızı tahmin modeli oluşturulmaktadır. Elde edilen modellerin performansları hata metriklerine göre ölçülmektedir. Her bir IMF'nin melez model performansı çalışmada bahsedilen tekli ve melez modeller ile kıyaslanmakta ve her bir IMF'nin melez rüzgâr hızı tahmin modeli üzerindeki etkisi araştırılmaktadır.

Çalışmada kullanılan rüzgâr hızı verileri Şekil 2'de gösterilen Türkiye'nin Marmara bölgesindeki Bandırma meteoroloji istasyonundan toplanmıştır. Bu meteoroloji istasyonları bölgedeki diğer ölçüm istasyonlarından izole edilmiştir. İstasyondan 51.725 saatlik rüzgâr hızı ölçüm verisi elde edilmiştir (Akçay and Filik 2017). Çalışmada kullanılan veri seti Şekil 2'de gösterilen istasyondan alınan verilerin 10 saatlik ortalaması alınarak elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan veri seti 5.173 rüzgâr hızı verisini içermektedir. Veri setindeki en düşük rüzgâr hızı verisi 0,6 m/s, en yüksek rüzgâr hızı verisi 25,7 m/s'dir. Veri setindeki ortalama rüzgâr hızı 3,99 m/s olup standart sapması 2,51 m/s'dir.



Şekil 2. Veri toplanan rüzgâr istasyonunun konumu.

Çalışmada oluşturulan modellerin performanslarının veriden bağımsız olduğunun gösterilebilmesi için modellerin eğitim, geçerlilik ve test aşamalarında kullanılmak üzere veri seti sırasıyla %70, %15 ve %15'lik kısımlara ayrılmıştır. Veri setindeki ilk 3.623 rüzgâr hızı verisi modellerin eğitim aşamasında kullanılmıştır. Sonraki 775 veri ile oluşturulan modellerin geçerliliği test edilmektedir. Oluşturulan modellerin performansları veri setinin sonunda yer alan 775 rüzgâr hızı verisi üzerinde ölçülmüştür. Modellerin performanslarının ölçülmesinde kullanılan test veri setindeki en düşük rüzgâr hızı verisi 0,6 m/s, en yüksek rüzgâr hızı verisi 11,6 m/s'dir. Test veri setindeki ortalama rüzgâr hızı 3,71 m/s olup standart sapması 2,29 m/s'dir.

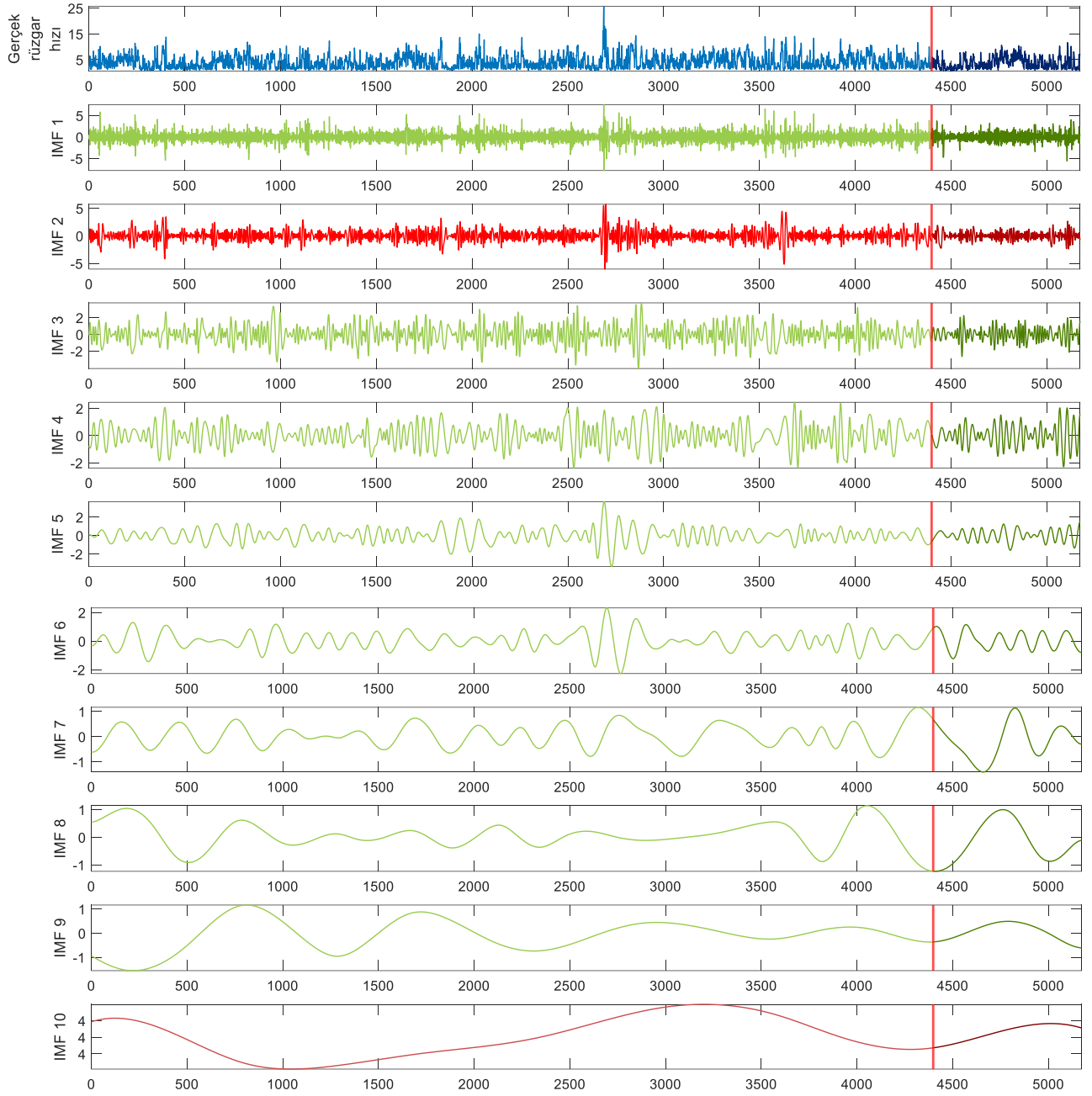
Çalışmada oluşturulan modellerin performansının değerlendirilmesinde, literatürde rüzgâr hızı tahmin modellerinin değerlendirilmesinde kullanılan ve Eş. (10-12) ile verilen ortalama mutlak hata (mean absolute error-MAE), ortalama karesel hata (mean squared error-MSE) ve kök ortalama karesel hata (root mean square error-RMSE) hata metrikleri kullanılmıştır. Söz konusu hata metrikleri ile oluşturulan tahmin modellerinin hem doğruluğu hem de güvenilirliği test edilmiştir.

Çalışmadaki melez rüzgâr hızı tahmin modellerinin oluşturulmasında ayrıştırma yöntemi olarak EMD tekniği kullanılmıştır. EMD tekniği ile 5.173 rüzgâr hızı verisinden oluşan veri seti Şekil 3'te görüldüğü gibi 10 IMF'ye ayrıştırılmıştır.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |p_{tahmin}^i - p_{gercek}^i| \quad (10)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_{tahmin}^i - p_{gercek}^i)^2 \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_{tahmin}^i - p_{gercek}^i)^2} \quad (12)$$



Şekil 3. Bandırma meteoroloji istasyonundan toplanan rüzgâr hızı veri seti için EMD'nin IMF'leri.

Çalışmanın tahmin modeli oluşturma aşamasında derin öğrenme yöntemlerinden LSTM tekniği kullanılarak tekli LSTM rüzgâr hızı tahmin modeli oluşturulmuştur. Bu tekli modelin oluşturulmasındaki amaç ayrıştırma yönteminin rüzgâr hızı tahmin modeli performansını iyileştirmedeki etkisinin ölçülebilmesidir. Oluşturulan LSTM modelinde, gizli katman sayısı 200 ve maksimum epok sayısı 150 alınmıştır. Model parametreleri Adam optimizasyon tekniği ile optimize edilmiştir. Şekil 3'te gösterilen gerçek rüzgâr hızı verisi EMD tekniği ile toplam 10 IMF'ye ayrılmıştır. Her bir IMF verisi LSTM modeli için giriş olarak kullanılarak toplam 10 farklı alt LSTM modelleri elde edilmiştir. Bu alt modeller birleştirilerek melez EMD-LSTM rüzgâr hızı tahmin modeli oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan tekli LSTM modelinin MAE, MSE ve RMSE hata metriklerine göre tahmin performansı sırasıyla 1,3844, 3,2063 ve 1,7906 e-ISSN: 2148-2683

olarak ölçülmüştür. Melez EMD-LSTM modelinin tahmin performansı ise MAE, MSE ve RMSE hata metriklerine göre sırasıyla 0,7663, 1,1902 ve 1,0910 olarak belirlenmiştir. Melez EMD-LSTM modelinin tahmin performansı MAE, MSE ve RMSE hata metriklerine göre tekli LSTM modelinin tahmin performansı ile kıyaslandığında, melez EMD-LSTM modeli ile MAE, MSE ve RMSE hata metriklerine göre rüzgâr hızı tahmin performansında sırasıyla %80,66, % 169,39 ve % 64,12 iyileşme olduğu görülmektedir. Ayrıştırılan her bir IMF'nin tahmin modeli üzerindeki başarımının belirlenebilmesi için her bir IMF'nin dahil edilmediği derin öğrenme tabanlı melez rüzgâr hızı modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan tahmin modellerinin MAE, MSE ve RMSE hata metriklerine göre performansları Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1 incelendiğinde, IMF10'un dahil edilmediği modelde en yüksek başarım elde edilmiştir. Bu model tüm

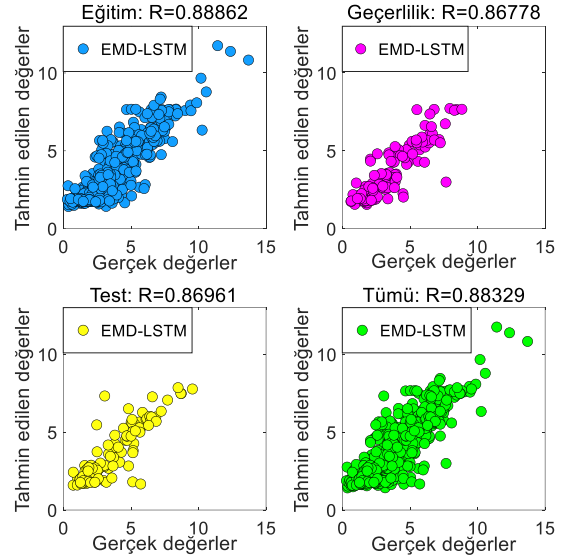
IMF'lerin dahil edildiği melez EMD-LSTM tahmin modeli ile karşılaştırıldığında, rüzgâr hızını MAE, MSE ve RMSE hata metriklerine göre sırasıyla %4,61, %10,87 ve %5,59 hata ile tahmin ettiği görülmektedir. Çalışmada, IMF2'nin dahil edilmediği model ile en düşük rüzgâr hızı tahmin başarımı elde edilmiştir. Bu modelin tahmin performansı tüm IMF'lerin dahil edildiği melez EMD-LSTM tahmin modelinin performansı ile MAE, MSE ve RMSE hata metriklerine göre karşılaştırıldığında, rüzgâr hızını sırasıyla %55,74, %127,10 ve %50,69 hata ile tahmin ettiği görülmektedir.

Tablo 1. Çalışmada oluşturulan rüzgâr hızı tahmin modellerinin performansları.

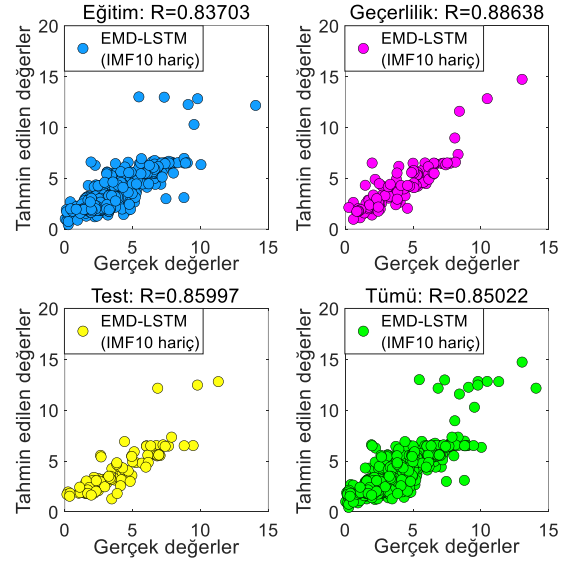
İstasyon	Model	MAE	MSE	RMSE
Bandırma	LSTM	1.3844	3.2063	1.7906
	EMD-LSTM	0.7663	1.1902	1.0910
	EMD (IMF1 hariç)-LSTM	0.8941	1.3370	1.1597
	EMD (IMF2 hariç)-LSTM	<b>1.1935</b>	<b>2.7030</b>	<b>1.6441</b>
	EMD (IMF3 hariç)-LSTM	1.1079	2.2629	1.5043
	EMD (IMF4 hariç)-LSTM	1.0549	2.1405	1.4630
	EMD (IMF5 hariç)-LSTM	0.9717	1.6436	1.2820
	EMD (IMF6 hariç)-LSTM	1.0503	2.3338	1.5277
	EMD (IMF7 hariç)-LSTM	1.1680	2.5293	1.5904
	EMD (IMF8 hariç)-LSTM	0.8129	1.3939	1.1806
EMD (IMF9 hariç)-LSTM	0.8484	1.4903	1.2208	
EMD (IMF10 hariç)-LSTM	<b>0.8034</b>	<b>1.3355</b>	<b>1.1556</b>	

Tüm IMF'lerin dahil edildiği melez EMD-LSTM tahmin modelinin eğitim, geçerlilik ve test süreçlerini de içeren regresyon eğrisi Şekil 4'te sunulmaktadır. Şekil 4 incelendiğinde, bahsedilen modelin rüzgâr hızını %88,33 doğrulukla tahmin ettiği görülmektedir. Benzer şekilde, IMF10 ve IMF2'nin dahil edilmediği melez modellerin eğitim, geçerlilik ve test süreçlerini de içeren regresyon eğrileri sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmektedir. Bahsedilen bu iki melez modelin rüzgâr hızını sırasıyla %85,02 ve %70,65 doğrulukla tahmin ettiği görülmektedir.

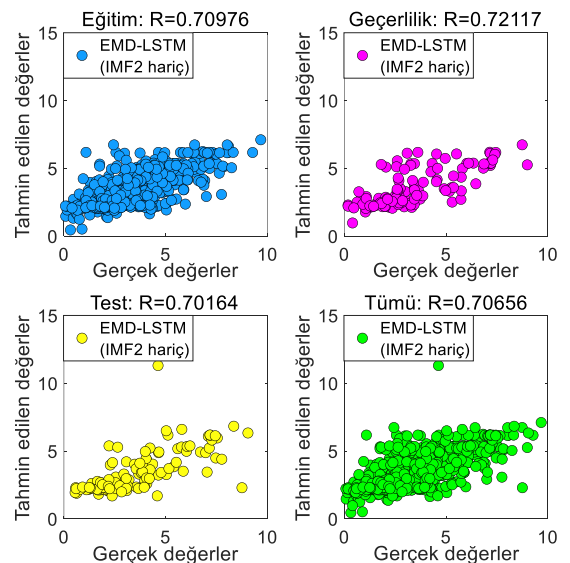
Bandırma istasyonu için tekli LSTM ve tüm IMF'lerin dahil edildiği melez EMD-LSTM modelleri için elde edilen tahmin sonuçları Şekil 7'de sunulmaktadır. IMF2'nin dahil edilmediği en yüksek hataya sahip melez model ile IMF10'un dahil edilmediği en düşük hataya sahip melez model için elde edilen tahmin sonuçları Şekil 8'de verilmektedir. Ayrıca, her bir IMF'nin dahil edilmediği melez rüzgâr hızı tahmin modellerinin performansı Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmektedir. Şekil 8 incelendiğinde, en yüksek hata payına sahip IMF2'nin dahil edilmediği melez modelin gerçek rüzgâr hızının anlık değişimlerini tahmin edemediği görülmektedir. Durağan olmayan rüzgâr hızının yüksek hassasiyetle tahmini için EMD'nin IMF2 değerinin kritik öneme sahip olduğu değerlendirilmektedir. Çalışmada kullanılan her bir model için Tablo 1'de verilen sonuçlarla birlikte Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 8 birlikte değerlendirildiğinde, hesaplama karmaşıklığının azaltılması gerektiği durumlarda, IMF10'un dahil edilmediği melez tahmin modelinin tüm IMF'lerin dahil edildiği melez modele alternatif olarak yaklaşık %5 hata ile kullanılabilceği görülmektedir.



Şekil 4. EMD-LSTM tahmin modeli için regresyon eğrisi.

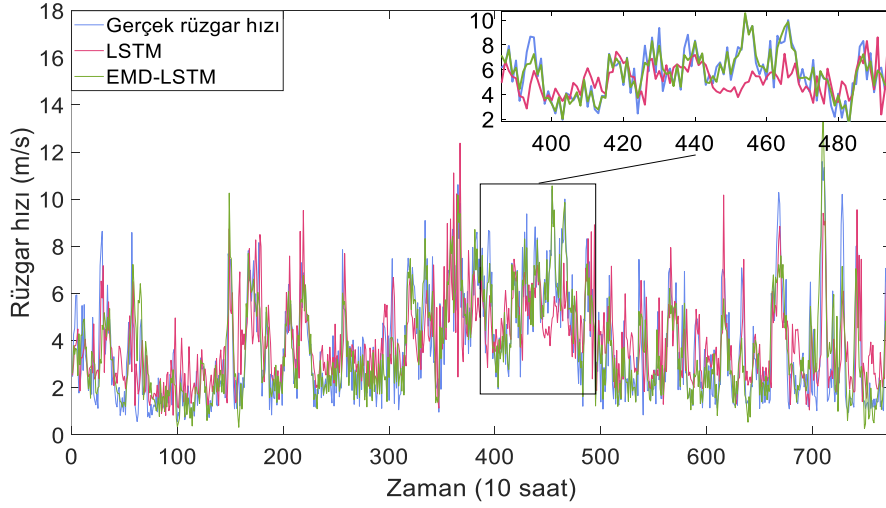


Şekil 5. EMD-LSTM (IMF 10 hariç) tahmin modeli için regresyon eğrisi.

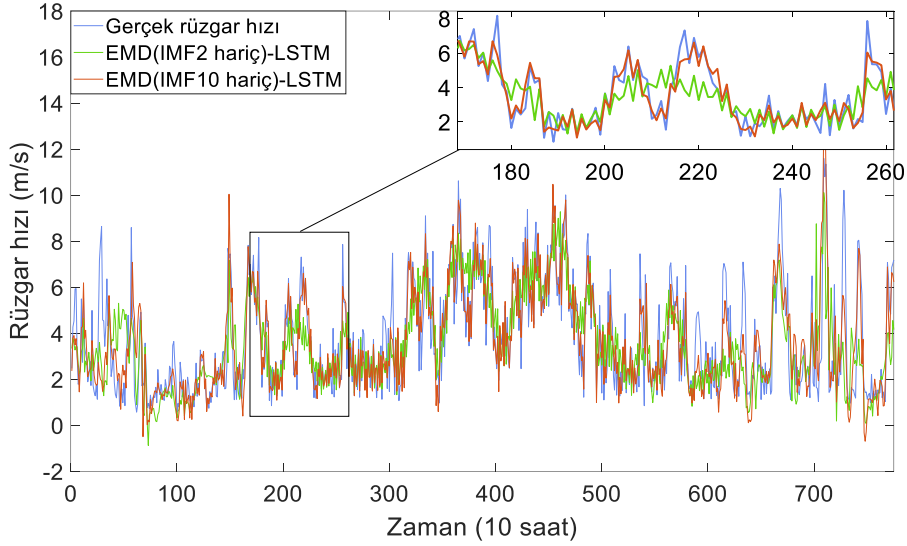


Şekil 6. EMD-LSTM (IMF 2 hariç) tahmin modeli için regresyon eğrisi.

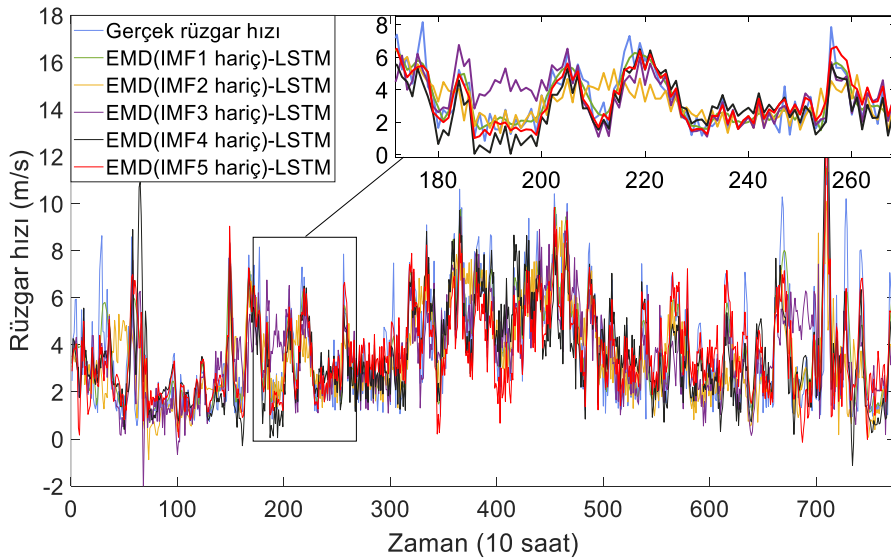




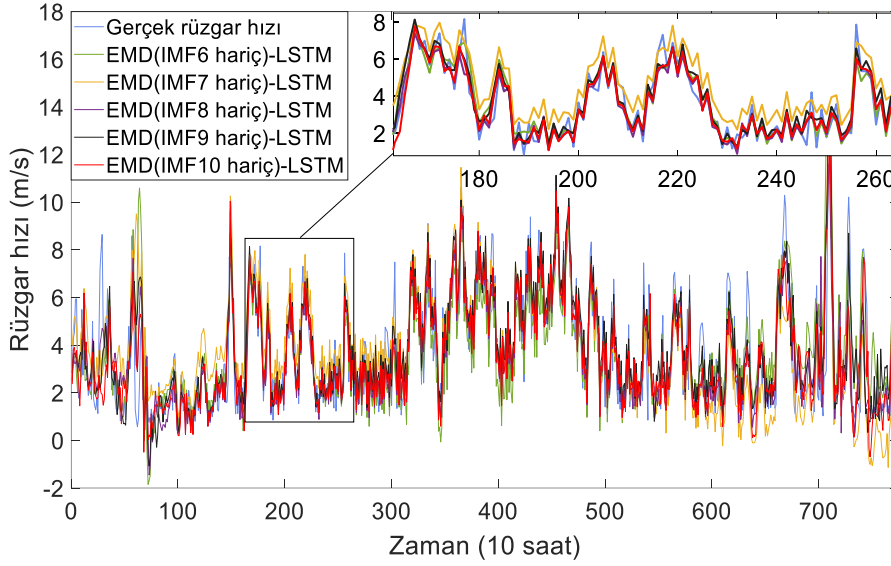
Şekil 7. Bandırma istasyonu için LSTM ve EMD-LSTM modellerinin rüzgâr hızı tahmin performansı.



Şekil 8. Bandırma istasyonu için EMD-LSTM (IMF 2 hariç) ve EMD-LSTM (IMF 10 hariç) modellerinin rüzgâr hızı tahmin performansı.



Şekil 9. Bandırma istasyonu için IMF 1-5 hariç tutulduğu EMD-LSTM modellerinin rüzgâr hızı tahmin performansı.



Şekil 10. Bandırma istasyonu için IMF 6-10 hariç tutulduğu EMD-LSTM modellerinin rüzgâr hızı tahmin performansı.

#### 4. Sonuçlar ve Gelecekteki Çalışmalar

Son yıllarda etkisini artarak hissettiren iklim değişikliği ile mücadelede önemi daha da ön plana çıkan ve temiz bir enerji kaynağı olan rüzgâr gücünün elektrik şebekesine entegre edilerek rüzgâr enerjisinden etkin şekilde faydalanılabilmesi için rüzgâr hızının güvenilir ve yüksek hassasiyetle tahmini hayati önem taşımaktadır. Derin öğrenme tabanlı tekli modellerin kısa vadeli rüzgâr hızı tahmininde gösterdiği performansın sınırlı olduğu görülmektedir. Rüzgâr hızı zaman serilerindeki doğrusal olmayan dinamikler ile baş etmede sinyal ayrıştırma yöntemleri etkili olmakta ve oluşturulan melez tahmin modelinin performansını iyileştirmektedir. Bununla birlikte, kullanılan ayrıştırma teknikleri tahmin modelinin hesaplama karmaşıklığını artırmaktadır. Güvenilir ve yüksek doğrulukla rüzgâr hızı tahmininde oluşturulan modelin hesaplama karmaşıklığının en aza indirilmesi rüzgâr gücünün elektrik şebekesine entegre edilebilmesine imkân tanımaktadır. Bu çalışmada, sinyal ayrıştırma tekniklerini içeren derin öğrenme tabanlı melez tahmin modellerinin hem hesaplama karmaşıklığının en aza indirilebilmesi hem de yüksek doğrulukla rüzgâr hızının tahmin edilebilmesi için ayrıştırma yöntemi ile elde edilen her bir IMF'nin tahmin performansı üzerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar tekli LSTM ve melez EMD-LSTM modellerinin tahmin performansları ile kıyaslanmıştır. EMD tekniği ile elde edilen IMF'lerin her birinin tahmin performansı üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için her bir IMF'nin dahil edilmediği melez rüzgâr hızı modellerin tahmin performansları hata metriklerine göre ölçülmüştür. Deneysel sonuçlar incelendiğinde, EMD'nin 2'nci IMF'sinin hariç tutulduğu melez modelin en düşük, 10'uncu IMF'sinin hariç tutulduğu melez modelin ise diğer IMF'lerin dahil edilmediği durumlara göre en yüksek tahmin performansına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlar, melez rüzgâr hızı tahmin modellerinin performansının belirli bir tolerans aralığında tutularak modelin hesaplama karmaşıklığının azaltılabileceğini ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalarda, her bir IMF'nin diğer IMF'ler ile kombine olduğu durumlar dikkate alınarak birden fazla IMF'nin dahil edilmediği melez rüzgâr hızı tahmin modellerinin performansları incelenecektir. En az hesaplama karmaşıklığı ile birlikte en yüksek tahmin performansına sahip rüzgâr hızı tahmin

modellerinin herhangi bir optimizasyon algoritmasına gerek kalmadan elde edilebilmesine ve elde edilen tahmin modelinin uygulanabilir olmasına olanak sağlanacaktır.

#### Kaynakça

- Akçay, H. & Filik, T. (2017). Short-term wind speed forecasting by spectral analysis from long-term observations with missing values. *Applied Energy*, 191, 653-662.
- Altan, A. & Karasu, S. (2021). Ayrıştırma yöntemlerinin derin öğrenme algoritması ile tanımlanan rüzgâr hızı tahmin modeli başarımına etkisinin incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 20, 844-853.
- Altan, A., Karasu, S., & Zio, E. (2021). A new hybrid model for wind speed forecasting combining long short-term memory neural network, decomposition methods and grey wolf optimizer. *Applied Soft Computing*, 100, 106996.
- Cadenas, E., Rivera, W., Campos-Amezcuca, R., & Heard, C. (2016). Wind speed prediction using a univariate ARIMA model and a multivariate NARX model. *Energies*, 9(2), 109.
- Chen, C. F., Lai, M. C., & Yeh, C. C. (2012). Forecasting tourism demand based on empirical mode decomposition and neural network. *Knowledge-Based Systems*, 26, 281-287.
- Chen, Y., Dong, Z., Wang, Y., Su, J., Han, Z., Zhou, D., Zhang, K., Zhao, Y., & Bao, Y. (2021). Short-term wind speed predicting framework based on EEMD-GA-LSTM method under large scaled wind history. *Energy Conversion and Management*, 227, 113559.
- Chen, Y., He, Z., Shang, Z., Li, C., Li, L., & Xu, M. (2019). A novel combined model based on echo state network form multi-step ahead wind speed forecasting: A case study of NREL. *Energy Conversion and Management*, 179, 13-29.
- Gauterin, E., Kammerer, P., Kühn, M., & Schulte, H. (2016). Effective wind speed estimation: comparison between Kalman filter and Takagi-Sugeno observer techniques. *ISA Transactions*, 62, 60-72.
- Hochreiter, S. & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory, neural computation, 9(8), 1735-1780.
- Hoolohan, V., Tomlin, A. S., & Cockerill, T. (2018). Improved near surface wind speed predictions using Gaussian process regression combined with numerical weather predictions and

- observed meteorological data. *Renewable Energy*, 126, 1043-1054.
- Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shih, H. H., Zheng, Q., Yen, N. C., Tung, C. C., & Liu, H. H. (1998). The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 454(1971), 903-995.
- Huang, N. E., Wu, M. L. C., Long, S. R., Shen, S. S., Qu, W., Gloersen, P., & Fan, K. L. (2003). A confidence limit for the empirical mode decomposition and Hilbert spectral analysis. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 459(2037), 2317-2345.
- Karasu, S., Altan, A., Saraç, Z., & Hacıoğlu, R. (2017a). Estimation of fast varied wind speed based on NARX neural network by using curve fitting. *International Journal of Energy Applications and Technologies*, 4(3), 137-146.
- Karasu, S., Altan, A., Saraç, Z., & Hacıoğlu, R. (2017b). Prediction of wind speed with non-linear autoregressive (NAR) neural networks. *IEEE 25th Signal Processing and Communications Applications Conference, Antalya-Turkey*.
- Liu, H. & Chen, C. (2019). Data processing strategies in wind energy forecasting models and applications: a comprehensive review. *Applied Energy*, 249, 392-408.
- Liu, H., Duan, Z., Wu, H., Li, Y., & Dong, S. (2019). Wind speed forecasting models based on data decomposition, feature selection and group method of data handling network. *Measurement*, 148, 106971.
- Liu, H., Tian, H. Q., & Li, Y. F. (2012). Comparison of two new ARIMA-ANN and ARIMA-Kalman hybrid methods for wind speed prediction. *Applied Energy*, 98, 415-424.
- Liu, X., Lin, Z., & Feng, Z. (2021). Short-term offshore wind speed forecast by seasonal ARIMA-A comparison against GRU and LSTM. *Energy*, 227, 120492.
- Ma, X., Jin, Y., & Dong, Q. (2017). A generalized dynamic fuzzy neural network based on singular spectrum analysis optimized by brain storm optimization for short-term wind speed forecasting. *Applied Soft Computing*, 54, 296-312.
- Ma, Z., Chen, H., Wang, J., Yang, X., Yan, R., Jia, J., & Xu, W. (2020). Application of hybrid model based on double decomposition, error correction and deep learning in short-term wind speed prediction. *Energy Conversion and Management*, 205, 112345.
- Ruiz-Aguilar, J. J., Turias, I., González-Enrique, J., Urda, D., & Elizondo, D. (2021). A permutation entropy-based EMD-ANN forecasting ensemble approach for wind speed prediction. *Neural Computing and Applications*, 33(7), 2369-2391.
- Sainath, T. N., Vinyals, O., Senior, A., and Sak, H. (2015). Convolutional, long short-term memory, fully connected deep neural networks. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Brisbane-Australia*, 4580-4584.
- Statistical Review of World Energy 2021. Available from: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-renewable-energy.pdf>
- U.S. Energy Information Administration. Available from: <https://www.eia.gov/renewable/data.php#wind>.
- Yan, X., Liu, Y., Xu, Y., & Jia, M. (2020). Multistep forecasting for diurnal wind speed based on hybrid deep learning model with improved singular spectrum decomposition. *Energy Conversion and Management*, 225, 113456.
- Yu, C., Li, Y., Bao, Y., Tang, H., & Zhai, G. (2018). A novel framework for wind speed prediction based on recurrent neural networks and support vector machine. *Energy Conversion and Management*, 178, 137-145.
- Zhang, D., Xu, Z., Li, C., Yang, R., Shahidehpour, M., Wu, Q., & Yan, M. (2019). Economic and sustainability promises of wind energy considering the impacts of climate change and vulnerabilities to extreme conditions. *The Electricity Journal*, 32(6), 7-12.
- Zhao, Y., Ye, L., Pinson, P., Tang, Y., & Lu, P. (2018). Correlation-constrained and sparsity-controlled vector autoregressive model for spatio-temporal wind power forecasting. *IEEE Transactions on Power Systems*, 33(5), 5029-5040.



# Comparative Anatomical Study in the Genus *Sambucus* (Adoxaceae) Distributed in Turkey

Omer Elkiran<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Sinop University, Vocational School of Health Services, Environmental Health Programme, Sinop, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1933-4003),  
[omer\\_elkiran@hotmail.com](mailto:omer_elkiran@hotmail.com)

(First received 25 November 2021 and in final form 16 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1028351)

**ATIF/REFERENCE:** Türkmenoğlu, G. , Sarıkaya, A. G. & Fakir, H. (2019). *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora* ve *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor. Taksonlarının Farklı Toplama Zamanlarına Ait Uçucu Bileşenleri . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (31) , 670-674.

## Abstract

In this study, *S. nigra* L. and *S. ebulus* L. (Adoxaceae) species belonging to the *Sambucus* genus were examined. Species of the genus were collected from northern Turkey and anatomical comparisons were made. Stem and leaf anatomy were examined by light microscopy. The plants have woody stem anatomy. The druse crystals which are the main anatomical characters of the genus were observed in the examined taxa. Differences were found in the number of cells of the vascular bundles, the arrangement of the druse crystals, and the shapes of the abaxial and adaxial epidermis cells in the leaf. In addition, differences were observed in the margin shape and collenchyma cell numbers on the stem.

**Keywords:** *Sambucus*, Adoxaceae, Anatomy, Turkey.

## Türkiye'de Yayılış Gösteren *Sambucus* (Adoxaceae) Cinsinin Karşılaştırmalı Anatomisi

### Öz

Bu çalışmada *Sambucus* cinsine ait *S. nigra* L. ve *S. ebulus* L. (Adoxaceae) türleri incelenmiştir. Cinsin türleri Türkiye'nin kuzeyinden toplanmış ve anatomik karşılaştırmalar yapılmıştır. Işık mikroskobu ile gövde ve yaprak anatomisi incelenmiştir. Bitkiler odunsu gövde anatomisine sahiptir. Cinsin anatomik ana karakteri olan kalsiyum oksalat kristalleri incelenen taksonlarda gözlenmiştir. Yaprakta iletim demetlerinin hücre sayıları, druz kristallerinin dizilişleri, alt ve üst epidermis hücrelerinin şekillerinde farklılıklar bulunmuştur. Ayrıca gövdede kenar şekli ve kollenkima hücre sayılarında farklılıklar gözlenmiştir. Sonuçlar cins içinde tartışılmış ve karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Sambucus*, Adoxaceae, Anatomi, Türkiye.

\* Corresponding Author: [omer\\_elkiran@hotmail.com](mailto:omer_elkiran@hotmail.com)



## 1. Introduction

*Sambucus* (Adoxaceae) is a deciduous genus with a small number of taxa, in the form of shrubs or trees [1,2]. While *Sambucus* was previously included in the Caprifoliaceae family, it was later included in the Adoxaceae family according to the results of genetic and classification studies [3,4].

*Sambucus* is a genus with difficult taxonomy. Representatives of the genus are geographically widespread, morphologically complicated and often present great variability within particular species [5]. Schwerin (1920) tentatively recognized 28 species and numerous varieties [6]. Bolli (1994) reduced the number of recognized species worldwide to nine [7, 8]. Turkey is very rich in terms of plant species due to its different climatic diversity [9]. There are two species in Turkey belonging to the genus *Sambucus* [10]. *S. ebulus* L. and *S. nigra* L. are perennial herb known locally as murver, sultanotu, sahmelemleri, agac murver and hekimana [10-12].

*S. nigra* is a plant with a sharp smell, 1-8 meters tall, in the form of a bush or tree. There are cracks and deep clefts in the bark and it is brown. The leaves are opposite, 5-7 elliptical-lanceolate, and the leaflets are toothed. Its flowers are umbrella-shaped and milky white in color. The fruits are black-purple shiny, spherical. The plant can be found at sea level or at higher levels, in forest or open areas (1400 m a.s.l.). The plant can grow in different parts of the world [13]. It is rarely seen in Western-Northern European countries [14,15].

*S. ebulus* plant is a perennial herb with erect and unbranched stems, growing up to 1-2 m in height, with a rhizome root structure. The leaves of the plant are opposite each other, with 5-9 leaflets, 15-30 centimeters in length, hairy and fragrant. The stems bear flowers that are white (rarely pink) with a crown of 10-15 centimeter corimbo. The fruits are dark blue or purple in color. *S. ebulus* grows naturally in south-central Europe, northwest Africa, and southwest Asia throughout the world [16].

Since the *Sambucus* genus has medicinal properties, it is also used for healing purposes in diseases. Plants of this genus have a perspiration-increasing and diuretic effect [17,18]. And it is also used as a folk medicine in the treatment of intestinal disorders, flu infections and rheumatic diseases [2,17,19].

In the anatomical studies, it is noteworthy that the cranial tissue consisting of mesophyll and bundle sheaths, which are morphologically and functionally different, is found. Kranz tissue is widely used to explain the C4 photosynthetic phenomenon in anatomical studies in plants [20-22].

In literature, there is not any anatomical study on *Sambucus* species in naturally growing in Turkey. Therefore, I have encouraged to study the patterns of anatomical structure among *Sambucus* taxa. This paper is first report and aimed at comparison of anatomical difference of *S. ebulus* and *S. nigra* naturally growing in Sinop province located in North of Turkey.

## 2. Material and Method

### 2.1. Plant Material

The plant specimens were collected during spring and summer from natural habitats of Sinop, Turkey from 2020 (Table

1). The taxonomic identification of the plant was made using Flora of Turkey [23].

Table 1. Taxa used for anatomical studies and localities of specimen collection

Tablo 1. Anatomik çalışmalar için kullanılan taksonlar ve örnek toplama yerleri.

Taxa	Collection areas and collector's number
<i>S. nigra</i>	Turkey, A4, Sinop: Korucuk village, roadside, 50m, 15.05.2020, ÖE-1150.
<i>S. ebulus</i>	Turkey, A4, Sinop: Ordu village, roadside, 20m, 16.05.2020, ÖE-1155.

### 2.2. Anatomical Study

Anatomical studies were carried out on aerial parts (stem and leaf) of taxa kept in 70% ethanol. The sections were studied and photographed from the preparations were taken with a LEICA (DFC 450C & DM 2500) microscope.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Stem Anatomy

*Sambucus nigra*: In the section taken from the stem, there is a thick cuticle layer outside the stem. The margin of stem is straight in *S. nigra*. There are glandular hairs on the epidermis. The epidermis is composed of a single row of regularly arranged epidermal cells. The vascular bundles in the body of the plant are regular. Collenchyma is located under the epidermis. Collenchyma is composed of 7-12 layers. Cortex 8-10 layered and the cells are ovoidal or circular. Phloem is composed of 4-8 layers of cells. Xylem is composed of 9-12 layers of cells. Cambium is distinguishable and 3-5 layered. The sclerenchymatic cells in the stem are thickened and their spaces are narrow. The pith in the stem is composed of large cells and there is little or no intercellular space. (Figure 1).

*Sambucus ebulus*: In the cross section taken from the stem of the plant, the cuticle layer was seen on the outer part of the stem. The margin of stem is most partly straight and partly wavy in *S. ebulus*. Epidermis cells are arranged in a single row and there are glandular hairs on them. Epidermal cells are also found under the cortex layer. Collenchyma is composed of 3-7 layers. Phloem is composed of 4-7 layers of cells. Xylem is composed of 6-9 layers of cells. Cambium is distinguishable and 3-4 layered. The vascular bundles in the stem of the plant are arranged regularly. There are large parenchymatic cells in the pith region and little or no pith cavity (Figure 2).

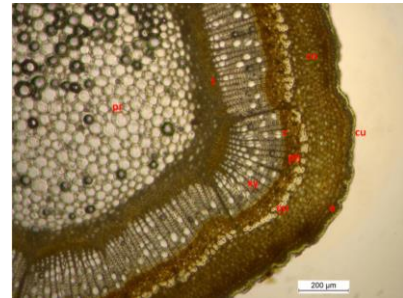


Figure 1. Cross-section of stem of *S. nigra* (ph: phloem, xy: xylem, t: trachea, pr: pith region, cu: cuticula, e: epidermis, co: collenchyma, en: endodermis, c: cambium)

Şekil 1. *S. nigra* gövde enine kesiti (ph: floem, xy: ksilem, t: trake, pr: öz bölgesi, cu: kutikula, e: epidermis, co: kollenkima, en: endodermis, c: kambiyum)

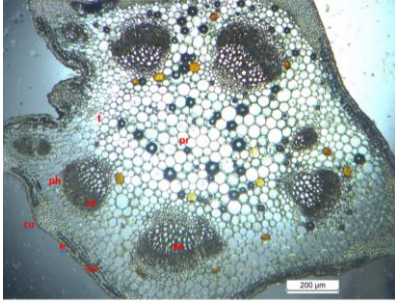


Figure 2. Cross-section of stem of *S. ebulus* (ph: phloem, xy: xylem, t: trachea, pr: pith region, cu: cuticula, e: epidermis, co: collenchyma, en: endodermis, ca: cambium)

Şekil 2. *S. ebulus* gövde enine kesiti (ph: floem, xy: ksilem, t: trake, pr: öz bölgesi, cu: kutikula, e: epidermis, co: kollenkima, en: endodermis, c: kambiyum)

### 3.2. Leaf Anatomy

*Sambucus nigra*: In upper and lower cross section of leaf, there is a thin cuticula layer in the outermost of leaf. The stomata are anemocytic type and they observed on the abaxial surface. The leaf showed a bifacial leaf anatomical structure. There are glandular hairs on the adaxial surface. Glandular hairs are mostly seen in the adaxial surface and not in the abaxial surface. The vascular bundles are surrounded by a parenchyma cells consisted of druse crystals. The epidermis cell shape were examined puzzle-shaped on abaxial and adaxial surface of the leaf (Figures 3,4).

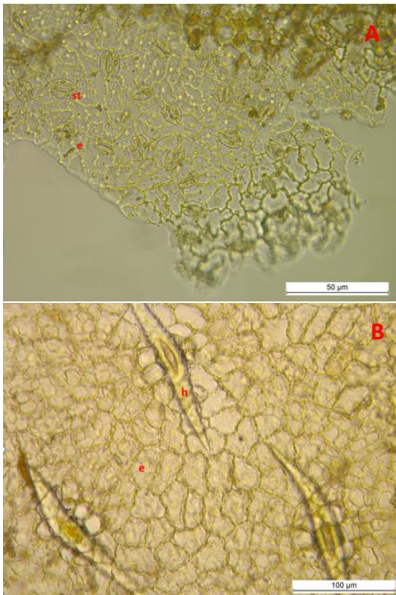


Figure 3. Superficial section of lower surface (A) and upper surface (B) of leaf of *S. nigra* (st: stoma, e: epidermis, h: hair)

Şekil 3. *S. nigra* yaprak alt yüzey (A) ve üst yüzeyin (B) yüzeysel kesiti (st: stoma, e: epidermis, h: tüy)



Figure 4. Cross-section of leaf of *S. nigra* (pp: palisade parenchyma, sp: spongy parenchyma, h: hair, dr: druse crystals)

Şekil 4. *S. nigra* yaprak enine kesiti (pp: palizat parankiması, sp: havalandırma parankiması, h: tüy, dr: druz kristalleri)

*Sambucus ebulus*: There is a thin cuticle for both upper and lower epidermis in the cross-sections of leaf. Stomata are observed in the lower part of the leaf which type of anomocytic. The leaf showed a bifacial leaf anatomical structure. There are not glandular hairs on the upper surface. The vascular bundles are surrounded by a parenchyma cells consisted of druse crystals. There are glandular or eglandular hairs on the lower and upper epidermis. The glandular and eglandular hairs are denser in the lower epidermis than in the upper epidermis. The epidermis cell shape were examined puzzle-shaped on abaxial surface and oblong on adaxial surface of the leaf (Figures 5, 6).

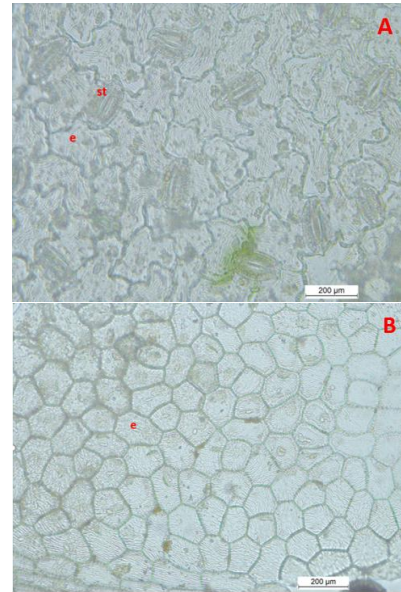


Figure 5. Superficial section of lower surface (A) and upper surface (B) of leaf of *S. ebulus* (e: epidermis, st: stoma)

Şekil 5. *S. ebulus* yaprak alt yüzey (A) ve üst yüzeyin (B) yüzeysel kesiti (e: epidermis, st: stoma)

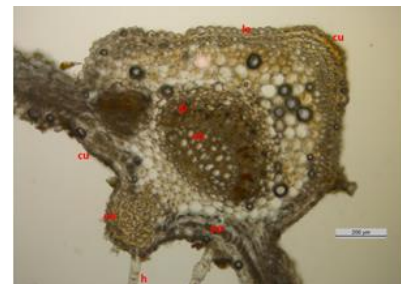




Figure 6. Cross-section of leaf of *S. ebulus* (cu: cuticle, le: lower epidermis, ue: upper epidermis, pp: palisade parenchyma, sp: spongy parenchyma, vb: vascular bundle, h: hair; dr: druse crystals)

Şekil 6. *S. ebulus* yaprak enine kesiti (cu: kutikula, le: alt epidermis, ue: üst epidermis, pp: palizat parankimasi, sp: havalandırma parankimasi, vb: iletim demetleri, h: tüy, dr: druz kristalleri)

Taxonomic studies of the *Sambucus* genus have been carried out in different parts of the world, but this study was carried out for the first time with samples from Turkey [4,8]. According to the results of the study, taxa showed great similarities and no significant anatomical differences were observed. Both species showed a bifacial leaf anatomical structure and anomocytic stomata. The number of vascular bundles, arrangement of druse crystals, adaxial and abaxial cell shapes of leaf, margin of stem, the number of collenchyma were showed differences characters for taxa. In cross section of stem of *S. nigra*, the number of vascular bundles and collenchyma were thicker than *S. ebulus*. Also, in *S. nigra* arrangement of druse crystals were more regular than *S. ebulus*. Some scientific reports have shown that stomata type, leaf anatomical structure, cell shape similarity as our study. As a result of anatomical studies, the long-term secondary growth is understood from the composition of the cortex structure. When the literature was examined, it was seen that this issue was emphasized in the studies [24-29]. Anatomical studies of this genus have shown that crystals are a taxonomically important character for the genus [4, 30-33].

The results of present and others studies show that the number of vascular bundles, anomocytic stomatas and existence the druse crystals are diagnostic characters in studied species. Although, many features in two species are identical, there are some anatomical variations between *S. nigra* and *S. ebulus*. Our observations are in accordance with previous records in other Adoxaceae or Caprifoliaceae elements [2,34,35].

#### 4. Conclusions and Recommendations

In this study, comparative anatomical were investigated taxa of *Sambucus*. The data obtained from the current anatomical study will facilitate the identification of two taxa and will provide new taxonomic contributions. It will also be a reference for new studies on this genus. In future studies, it is recommended to take SEM photographs of seed and glandular hairs in order to increase anatomical similarities and differences.

## References

[1] Mabberley, D. J. (2008). Mabberley's Plant-book: a portable dictionary of plants, their classifications and uses (No. Ed. 3). Cambridge University Press.

[2] Amini, E., Nasrollahi, F., Sattarian, A., Isazadeh-Araei, M., & Habibi, M. (2019). Systematic and molecular biological study of *Sambucus* L.(Caprifoliaceae) in Iran. *Thaiszia - J. Bot.*, Košice, 29 (2): 133-150.

[3] Donoghue, M. J., Bell, C. D., & Winkworth, R. C. (2003). The evolution of reproductive characters in Dipsacales. *International Journal of Plant Sciences*, 164(5), 453-464.

[4] Amini, E., Nasrollahi, F., Sattarian, A., Isazadeh-Araei, M., Habibi, M. (2021). Morphological and anatomical study of the genus *Sambucus* L. (Adoxaceae) in Iran. *Modern Phytomorphology*, 15: 15–19.

[5] Applequist, W. L. (2013). A brief review of recent controversies in the taxonomy and nomenclature of *Sambucus nigra* sensu lato. In *I International Symposium on Elderberry*, 1061, 25-33.

[6] Schwerin, F.G. (1920). Revisio generis *Sambucus*. *Mitt Deutsch Dendrol Ges*, 29:194-231.

[7] Bolli, R. (1994). Revision of the genus *Sambucus*. *Dissertationes botanicae*, 223. J. Cramer, 256.

[8] Wrońska-Pilarek, D., Jagodziński, A. M., Bocianowski, J., Marecik, M., & Janyszek-Sołtysiak, M. (2020). Pollen morphology and variability of *Sambucus nigra* L.–Adoxaceae. *Biologia*, 75(4), 481-493.

[9] Türkmenoğlu, G. , Sarıkaya, A. G. & Fakir, H. (2019). *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora* ve *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor. Taksonlarının Farklı Toplama Zamanlarına Ait Uçucu Bileşenleri . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (17) , 145-151 .

[10] Atay, I., Kirmizibekmez, H., Gören, A. C., & Yeşilada, E. (2015). Secondary metabolites from *Sambucus ebulus*. *Turkish Journal of Chemistry*, 39 (1), 34-41.

[11] Güner, A., & Aslan, S. (Eds.). (2012). *Türkiye bitkileri listesi: (damarlı bitkiler)*. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Yayınları.

[12] Yeşilada, E., Gürbüz, İ., & Toker, G. (2014). Anti-ulcerogenic activity and isolation of the active principles from *Sambucus ebulus* L. leaves. *Journal of ethnopharmacology*, 153(2), 478-483.

[13] Senica, M., Stampar, F., Veberic, R., & Mikulic-Petkovsek, M. (2016). Processed elderberry (*Sambucus nigra* L.) products: A beneficial or harmful food alternative?. *LWT-Food Science and Technology*, 72, 182-188.

[14] Akbulut, M., Ercisli, S., & Tosun, M. (2009). Physico-chemical characteristics of some wild grown European elderberry (*Sambucus nigra* L.) genotypes. *Pharmacognosy magazine*, 5(20), 320.

[15] Ağalar, H. G. (2019). Elderberry (*Sambucus nigra* L.). In *Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements* (pp. 211-215). Academic Press.

[16] Jabbari, M., Daneshfard, B., Emtiazy, M., Khiveh, A., & Hashempour, M. H. (2017). Biological effects and clinical applications of dwarf elder (*Sambucus ebulus* L): A review. *Journal of evidence-based complementary & alternative medicine*, 22(4), 996-1001.

[17] Manganelli, R. U., Zaccaro, L., & Tomei, P. E. (2005). Antiviral activity in vitro of *Urtica dioica* L., *Parietaria diffusa* M. et K. and *Sambucus nigra* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 98(3), 323-327.

[18] Merica, E., Lungu, M., Balan, I., & Matei, M. (2006). Study on the chemical composition of *Sambucus nigra* L., essential oil and extracts. *NutraCos*, 5(1), 25-27.

[19] Novelli, S. (2003). Developments in berry production and use. *Bi-weekly Bull. Agric. Agri-Food Canada*, 16, 21.

[20] Faniyan, M.M., Olatunde, D.O., Ayeni, O.B., Jimoh, M.A., Saheed, S.A. (2013). Functional leaf anatomical characters in relation to C3 and C4 photosynthetic pathways in four species of *Euphorbia* L. in Southwestern Nigeria. *Nigerian journal of botany*, 26(1): 19-28.

[21] Ayeni, O. B., Jimoh, M. A., & Saheed, S. A. (2015). Leaf anatomical characters in relation to the C3 and C4 photosynthetic pathway in *Cyperus* (Cyperaceae). *Nordic Journal of Botany*, 33(3), 318-323.

- [22] Ajao, A. A. N., Jimoh, M. A., & Saheed, S. A. (2017). Studies on anatomical characters indicating C 3 and C 4 photosynthetic metabolism in the genus *Boerhavia* L.(Nyctaginaceae). *Taiwania*, 62(3).
- [23] Davis, P. H. (1970). Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 3. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Vol. 3.
- [24] Esau, K. (1967). Plant Anatomy. John Willey & Sons. Inc., New York.
- [25] Fahn, A. (1967). Plant anatomy. *Plant anatomy*. Pergamon Press, New York.
- [26] Metcalfe, C.R., Chalk, L.(1972). Anatomy of Dicotyledons. *Clarendon Press*, Oxford.
- [27] Özörgücü, B., Gemici, Y., & Türkan, İ. (1991). Karşılaştırmalı Bitki Anatomisi. *Ege Üniversitesi, Bornova, İzmir*.
- [28] Özörgücü, B. (1993). Bitki Morfolojisi ve Anatomisine Giriş. *Ege Üniv. Fen Fak. Kitapları Serisi*, (136).
- [29] Yentür, S. (1995). Bitki Anatomisi. İstanbul Üniv. *Fen Fak. Yay., İstanbul*. (in Turkish).
- [30] Metcalfe, C.R., Chalk, L.(1950). Anatomy of the Dicotyledons. *Oxford Univ. Press*, London, Vol. 2.
- [31] Fahn, A. (1990). Plant Anatomy, Fourty edition, Butterworth, *Heinemann Pub. Ltd.*, Jarusalem, Israel.
- [32] Sargın, S. A., & Selvi, S. (2016). Türkiye'de yayılış gösteren *Cistus* L.(Cistaceae) cinsinin karşılaştırmalı yaprak anatomisi. *Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.* 6(2): 41-48.
- [33] Selvi, S., Aladi, H. I., & Paksoy, M. Y. (2019). Micromorphological and anatomical investigations on *Conringia* Heist. ex Fabr. *Bangladesh Journal of Botany*, 48(4), 1153-1162.
- [34] Scopel, M., Nunes, E., Vignoli-Silva, M., Vendruscolo, G. S., Henriques, A. T., & Mentz, L. A. (2007). Caracterização farmacobotânica das espécies de *Sambucus* (Caprifoliaceae) utilizadas como medicinais no Brasil. Parte I. *Sambucus nigra* L. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 17, 249-261.
- [35] Rugina, R., & Toma, C. (2007). Histo-anatomical aspects of some *Lonicera* L. species. *Analele Stiintifice ale Universitatii" Al. I. Cuza" din Iasi*, 53, 26.





# Factors Affecting Brand Awareness

Bora Gündüzyeli

<sup>1\*</sup> İstanbul Ayvansaray Üniversitesi, İktisadi İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5098-8713), boragunduzyeli@ayvansaray.edu.tr

(First received 30 March 2021 and in final form 8 August 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.906281)

**ATIF/REFERENCE:** Gündüzyeli, B., (2021). Factors Affecting Brand Awareness. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 675-680.

## Abstract

The rapidly changing and developing conditions since the industrial era have increased the consumers' chances of choice, and this situation has exposed organizations to a strong competition. As a result of the promotional activities carried out to promote the products and to direct the consumer to purchase, consumers are faced with too many messages.

In this context, consumers buy not only the product or service, but also the image and status of the brand, the value of the product or service they intend to purchase. In the face of this situation, institutions try to establish an emotional bond with the customer by determining the necessary strategies and in this way increase brand awareness.

One of the best ways to increase brand awareness is to expose it to as many customers as possible, and this awareness is a prerequisite for an idea and perception of the brand. This idea for the brand includes both remembering and recognition of the brand.

In the light of this information, the effects of advertising, mascot use, product placement, event marketing and social responsibility concepts, which are among the variables that affect brand loyalty, are included in this study.

**Keywords:** Advertising, Mascot Use, Product Placement, Event Marketing, Social Responsibility.

## Marka Farkındalığını Etkileyen Unsurlar

### Öz

Sanayi döneminden bu yana hızla değişen ve gelişen koşullar tüketicilerin seçim şansını artırmış bu durum örgütleri güçlü bir rekabet ile karşı karşıya bırakmıştır. Ürünlerin tanıtılması ve tüketiciyi satın almaya yöneltmek için yapılan tutundurma faaliyetleri neticesinde tüketiciler çok fazla mesaj ile karşı karşıya kalmaktadır.

Bu bağlamda tüketiciler sadece salt ürün veya hizmeti değil satın almayı düşündükleri ürün veya hizmetin katacağı değeri markanın imajını ve statüsünü de satın almaktadırlar. Bu durum karşısında kurumlar gerekli stratejiler belirleyerek müşteri ile duygusal bağ kurabilme ve bu yolla marka farkındalığını artırma çabasına girmektedirler.

Marka farkındalığını attırmanın en iyi yollarından biri olabildiğince çok müşteriye maruz bırakılmasıdır ve oluşan bu farkındalık markaya dair fikir ve algı oluşabilmesinin ön koşuludur. Markaya yönelik oluşan bu fikir markanın hem hatırlanmasını hem de tanınmasını içermektedir.

Bu bilgiler ışığında bu çalışmada marka bağlılığına etkisi olan değişkenlerden reklam, maskot kullanımı, ürün yerleştirme, olay pazarlaması ve sosyal sorumluluk kavramlarının etkilerine yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Reklam, Maskot Kullanımı, Ürün Yerleştirme, Olay Pazarlaması, Sosyal Sorumluluk.

## **1. Introduction**

Being recognized and creating familiarity with people is the essence of advertising. The familiarity created must be effective and long-lasting. Familiarity should be able to create a customer loyalty to the brand. Again, familiarity should be seen as a general image-building power derived from brand identity.

Historically, awareness of a brand's advertisement has been considered one of the most important steps for effective advertising. From the advertisers' point of view, a successful marketing communication campaign should be memorable, as the opportunity to purchase the product that appears in mass media is often delayed.

Another variable that has an important impact on brand awareness is the use of mascots. The commercial actor used in the use of mascots as well as in advertising must be in accordance with the brand spirit. It is known that commercial characters appearing on product labels have the role of giving identity to the product.

Brand placement should be considered as a type of application that works for company owners, especially film owners, as they are used in films. Considering the benefits of companies, it can be seen that some messages can reach and opportunities can be seized. There are also pro-firm benefits such as increasing brand awareness, strengthening brand image, and encouraging consumers to use the brand. Of course, it can be very useful in terms of increasing the sales of the products.

Event or event marketing is referred to as experiential marketing in the literature or Event Marketing in foreign literature sources. All these concepts refer to the same subject and can be expressed as "Events" in total. The impact on the customer is important in terms of the image of the brand and the emotional bond it establishes between the brand and the customer.

When the relationship between social responsibility activities and brand awareness is examined, we come across a sense of well-being. The concept of social responsibility, which aims to meet the philanthropic needs of both individuals and institutions, increases the likelihood of the brand promoted in this way.

## **2. Factors Affecting Brand Awareness**

### **2.1. Brand Awareness and Advertising Relationship**

Advertising has a significant deliberate impact on brand awareness. This is necessary for sentiment advertising effects (e.g., brand liking) and behavior-related advertising effects (e.g., purchase requests) (Valkenburg & Buijzen, 2005, p. 457). Many people state that advertisements are beneficial by potentially increasing one's satisfaction and raising awareness about products (Resnik & Stern, 1977, p. 12).

It is observed that advertisers compete by constantly developing new forms of communication in order to attract the attention of the customers and generate desire. It is observed that the combination of informational or program-sized new message formats is called "non-traditional messages" or "hybrid messages" and these type of messages differ from traditional advertising messages. (Rodrigue, 2006, p. 32).

In a study, it was observed that liking a certain scene in an advertisement is related to being remembered. Here, a technique used to measure the effect of a loved or liked advertisement on recall is used. Accordingly, it has been shown that there is a significant positive effect between liking and remembering (Youn et al., 2001, p. 11). Subsequent studies indicate that the recall rate of advertisements with and without assistance and a higher recall is achieved when the highest level of liking is achieved in the ad. It has been observed that if there is a minimum level of liking in the advertisement, the recall is lower ([www.ciadvertising.org](http://www.ciadvertising.org), 11.05.2018)

Advertisers and advertising agencies prefer to convey the messages they want to convey, especially in large-budget advertising projects, to the target audience by telling the experiences of someone who has used the product or service in front of the camera. In this kind of advertising application, ordinary people are used as well as celebrities from time to time. Famous people have a realistic and interesting story about the brand, product or service in question, which can increase credibility and awareness. (Elden, 2003, p. 75).

An example of how the ad works over time is provided by Buzzell and Baker. Buzzell and Baker found that in one case, with the cut of the ad, 40% of sales were not affected in the first month after the ad budget cut, but that sales declined in the second and third months after the budget cut (Franses & Vriens, 2004, p. 5). Changing the effects of image and brand positioning (repositioning) may take longer as a result of an advertising campaign rather than changes in brand awareness or sales. What is interesting is that competitive advertising can also create its own extra brand awareness and purchases (Odabasi & Oyman, 2005, p. 365).

The use of famous people in advertising and promotional activities is also a very common method to create brand awareness. With the use of famous people in advertising and promotional activities, brands, slogans and lines play an important role in creating brand awareness by settling in the daily language of the society and leaving a long-term impact on consumers (Tigli, 2010, p. 82). Graeme Turner, an Australian professor who has done many research on the media and world of celebrities, states that the celebrity is actually a presentation style. According to Turner, the effect of this presentation increases with the promotion, advertisement, marketing and media industry and thus becomes a cultural format that includes social functions that are better understood by people (Turner, 2006, p.155).

Considering the celebrity usage in television commercials in general, it can be seen that the most important reason for the famous use in such productions is that famous faces are adopted by the public and that the place related to it in the society is respectable and reliable. Advertisers use the positive perspective acquired by famous faces, who have an important place in the society, to identify them with the brand, product or service. Because advertisers want to emphasize that their brands, products or services are respected, loved and admirable, reflecting that respectable, loved and admired celebrities are the supporters of their own brands. (Televizyon.reklam.com.tr/yazilar/televizyon-reklaminda-unlu-kullanimi/42, 25.05.2018) For this reason, the famous use of television commercials stands out as an extremely common method since the birth of television commercials.

Television ads are very effective in creating brand awareness, but other types of advertising also have an effect on creating brand awareness. Billboard ads can be given as an example. Most of the outdoor advertisements in daily life are called billboards. However, contrary to popular belief, billboards, which are perceived as an advertisement board, are only one of the outdoor advertisements. Billboards are panels made of aluminum or fiber material in various sizes and shapes on iron legs. Its use in our country has been after the 1980s. Billboards should be easy to understand, should be presented with large visuals, messages should be short and presented in large fonts, and should be designed with the aim of extending the short duration of the encounter with the area used (Balkas, 2006, p. 68).

## **2.2. Brand Awareness and Mascot Usage Relationship**

The effective use of the mascot concept in marketing started at the beginning of the 20th century and is still developing. In this century, the diversification of the products and the increase in competition have created the need for brands to create awareness. For this reason, manufacturers have tried ways such as using different packaging and labeling. The use of mascots has also increased in order to achieve this differentiation (Dotz & Husain, 2003, p. 8). Many companies use mascots to create emotional bonds with consumers. These mascots can appear in shapes that include animals, plants, figures, and people. Usually, this can be personalized in some way and makes it easier for the consumer to distinguish the brand (Callcott & Lee 1995, p. 144).

When we think of THY, Vestel, Yumos, Turkcell, Arcelik Nestle, Dalin, Milka, or Michelin the first mascots come to mind. Although all these brands are from different sectors, the common denominator they all gather is the mascots they have. The brand distinguishes one good from another, provides information to consumers about the benefits and quality of the good, and can contribute to the recall of the good. Owning the brand strategically provides a competitive advantage. A successful brand is the main resource for the future profits of the firm. Many commercial characters have the ability to give the consumer a clue about the brand, even when the brand name is not used in the advertisement. The commercial characters (panda, lion and golfettin) in the packages of Panda, Algida Max and Golf ice cream products can be shown as the most important reasons for remembering the products. Today, mascots are used in different ways and in various fields. There are mascots used in different fields such as university and college mascots, sports team mascots, computer mascots, political party mascots, municipal mascots, international events.

Although the advertisement must be suitable for the brand spirit, the commercial character must also be suitable for the spirit and personality of the brand. It is stated that commercial characters are included in the product labels and have the role of giving identity to the product during the periods when commercial characters were used in advertisements and developed (Phillips, 1996, p. 147). For example, the same commercial characters were used in many commercials of Pinar products. According to the information on the Pinar brand's own web pages, Pinar, which has a wide product portfolio, not only promotes itself as health and pleasure products, but also positions itself as the food of both the body and the soul. Bone, gut, brain and nasal puppets were also used in the advertisements of this wide product line. In this way, products can be connected

to each other in the minds of the consumer and it is guaranteed that each product has the same Pinar quality. With these commercial characters, Pinar was awarded the 2007 Golden Effie award. Phillips (1996) included the findings of Strasser (1989) and stated that for many brands, the use of the same commercial character results in a collective advertisement and that each product connects each other and helps the purchase of another (Strasser, 1989 Cited by: Phillips, 1996, p. 152).

Commercial characters have a message to be conveyed to the consumer continuously through advertising campaigns and they ensure to be remembered. According to Phillips (1996), the long-term use of commercial characters has many advantages. Because the consumer has had an experience with this commercial character before and the role of the commercial character as the product identity determiner has increased. As time passes, the consumer will learn to recognize the commercial character and the brand it offers. Another advantage of using commercial character for a long time is that advertisers can build on the brand image that consumers already have in mind. Once the consumer understands the meaning of the commercial character and can associate it with the brand, the future advertisement tries to reinforce the previous connection rather than establishing a new connection. After a while, the characters used can become nostalgic and attract consumers in this way. In this study, Phillips emphasized that a desirable meaning can be transferred to the product by adding personality and cultural meaning to the product, especially based on the work of Peirce and McBride (1996) (Phillips, 1996; as cited in: Peirce & McBride, 1999, p. 962).

Zajonc expressed the concept of exposure as “the exposure of the individual to a stimulus in a repetitive way provides sufficient environment for an increase in his attitude towards him”. In other words, familiarity leads to liking (for example, a positive or pleasant effect) (Zajonc, 1968, p. 1). It is stated that constant exposure to an imaginary stimulant such as Ronald McDonald, who is a commercial character, causes the audience to develop a positive attitude towards Ronald McDonald. However, marketers often want to sell the product of the brand, not the commercial character itself, using a commercial character. The increasing interest in the character of Ronald McDonald also increases the interest in the McDonald product line supported by advertising and promotions. (Mizerski, 1995, p. 58).

Mascots are thought to be sufficient in promoting the brand because of its strong product-advertising relationship (Phillips, 1996, p. 147). Mascots help to overcome the crowd in the market place. However, mascots can have benefits as well as disadvantages. Mascots sometimes become so remarkable that they can destroy brand awareness by eliminating all other brand elements. Because the consumer only remembers the relevant mascot and establishes an emotional relationship with it. In order to avoid this disadvantage, how and how the character will be used in brand communication should be planned well (Keller, 2003, p. 596).

Mascots can appear not only visually, but also as anthems or slogans. The Black Eagle of Besiktas, the lion of Galatasaray and the canary of Fenerbahce are good examples of this. Most of the sports teams' mascots abroad are also developed on animals. In a study conducted on sports sponsorship management in England, it was stated in the meeting with the official of the sponsoring organization in football matches that the most

accurate extension of their creativity is to buy clothes to create mascots before, during and after the matches (Chadwick & Thwaites, 2005, p. 328).

### 2.3. Brand Awareness and Product Placement Relation

The concept of product placement is not the same as the concept of brand placement. Karrh (1998) states that there is a difference between brand and product placement, which are frequently used in films or television programs. Karrh actually emphasizes that the type of placement done here is mostly "brand placement". Because in movies, products are generally not named by their names; They are indicated by their brands. However, it is noteworthy that products appear in a film without a brand name (Vollmers, 1995, p. 1). However, in the literature, the concepts of brand placement and product placement are often used interchangeably.

Brand placement can be defined as a paid message that aims to impress the audience by placing a branded product in a planned and inconspicuous way in movies or television programs (Odabasi and Oyman, 2005, p. 377). These types of messages are paid works that aim to make the consumer not forget the brand, create a certain attitude, and affect them positively.

It is noteworthy that in films made before the 1970s, branded products were used and the brand owner firm, which supported it, placed their branded products in the film by paying a certain price (Balasubramanian, 1994, p. 29). In the 1980s, advertisers who saw that product placement was a new form of persuasive message in their advertising strategy tried to position their products in a privileged way by placing their products in the film by paying a certain amount. For example, in "Cute creature E.T", a product placement trial is made with E.T eating Reese's Pieces candy in the movie, and an incredible 65% increase in sugar sales is observed over three months. (Rodrigue, 2006, p. 36). It was observed that there were more than 30 brand placement companies in 1986 and these companies aimed to include the brand on the stage they deemed appropriate by reading the scenario. When we look at the movies made in 1991, it is noteworthy that there were twenty-five films in total and 291 product placement works were encountered in these films and when the average was examined, 12 product placement studies were carried out per each film ([http://www.academia.edu/3857509/Product\\_placement](http://www.academia.edu/3857509/Product_placement), 11.09.2018).

The differences between television programs and product placement strategies in films in terms of effect were also examined experimentally. Gupta & Lord (1998) investigated the impact of 'fame' in installation (in a prominent or inconspicuous form) and forms of presentation (verbal only, visual only, or both visual and verbal). Accordingly, in a product placement, a product can appear in a certain scene with high visibility or stand out in a scene by showing it as a part of a certain event in that event. It can also be said that with a striking product placement, the characteristic feature of the brand is not noticeable. Only in verbal product placement is some things said about the brand. In the only visual product placement type, the product or brand is

shown in a certain scene. In both visual and verbal product installations, both visual and verbal elements related to the brand are combined. Experts have shown that a good recall rate is achieved after product placements (Rodrigue, 2006, 37).

It is observed that there are two different types of product placement in mass media: (<http://ciadvertising.org>, 2006, 11.05.2019)

**1- Strategic using of brands:** the use of the brand by producers, actors and directors to make a certain impact on the viewer or listener. (For example, when the actor uses the product more physically and attracts the product.)

**2- Using brands as a promotional tool:** With this, it is possible for those who advertise to the program or film owner to pay a certain price or make barter agreements or do this free.

With the developments in the product placement industry, it is observed that these two forms are fused in order to create a more realistic image in the films, and at the same time, the product is offered the opportunity to be preferred.

In the product placement studies until today, Gupta and Lord (1998) examined the product placement studies by comparing them with the advertisement; Weaver and Loiver (2000) expanded their research on product placement by adding the concept of "reputation/fame" and examined product placement and advertising in a comedy program on television; it was observed that Russell (2002) expanded the product placement studies and examined the relationship between form and scenario (Rodrigue, 2006, p. 36).

From a formal point of view, it is remarkable that Gupta and Lord put forward three models as product placement strategy. These ([www.ciadvertising.org](http://www.ciadvertising.org), 11.05.2018);

- Only visual product placement (a product only appears on the scene),
- Audio-only product placement (the product is not shown here, only something is said about it)
- Audio and visual product placement (here the product is visible on the stage and something is said about it)

Another factor that affects viewers' remembrance of the brand or product is related to the "prominent display of the brand". Here, the brand appears in the film in a striking and impressive form. It is worth noting that the brand or elements that promote the brand have high visibility, taking place at the center of the event or in a large size, or power is noticeable when the brand cannot be displayed in a striking way ([www.ciadvertising.org](http://www.ciadvertising.org), 11.05.2018).

Accordingly, although product placement in films is not a common method used to increase awareness, it has been observed that it achieves very good scores in awareness measurement. The awareness scores were just below the product placement on television, outdoor media and traditional television use. The results of the study are shown in Table 1.



Table 1. Mara Noticeability According to the Advertised Area

Individuals %	Product placement in movies	Product placement on TV	Advertising on TV	Outdoor Advertising	Test Messages	Radio ads
Adults	47	52	61	53	19	40
Children	61	62	71	60	23	47

Source: [http://www.academia.edu/3857509/Urun\\_yerlestirme](http://www.academia.edu/3857509/Urun_yerlestirme) 11.09.2018.

Again, in the case of advertising plus product placement studies of another research study conducted in the United States, the awareness created by the product or brand is 7 out of 10; being reminded is 7.5 out of 10; It was noted that the awareness provided by advertising only without placing a product varies between 5 and 6 out of 10 (Ertas, 2003, p. 28).

Another point that takes attention in the study is that standard product placement practices do not attract the attention of consumers in countries with high advertising pollution, such as the United States and the UK. According to the findings obtained from the research, it is concluded that 29% of the interviewees stated that the product placements made on the films may cause them to try a product, and this rate exceeds 40% in the 15-24 age group worldwide ([http://www.academia.edu/3857509/Urun\\_yerlestirme](http://www.academia.edu/3857509/Urun_yerlestirme), 11.09.2018).

Although the awareness rates are higher than expected, it is seen that there are still those who are not easily convinced. The rate of those who stated that they deliberately ignore the brands that use the product placement method was 52%; it has been observed that 32% of people find such advertisements disturbing. In this analysis, it is noteworthy that those who reject are over the age of 55 (Mediacat, 2004, p.37).

Again, in the case of advertising plus product placement studies of another research study conducted in the United States, the awareness created by the product or brand is 7 out of 10; being reminded is 7.5 out of 10; It was noted that the awareness provided by advertising only without placing a product varies between 5 and 6 out of 10 (Ertas, 2003, p. 28). Another point that takes attention in the study is that standard product placement practices do not attract the attention of consumers in countries with high advertising pollution, such as the United States and the UK. According to the findings obtained from the research, it is concluded that 29% of the interviewees stated that the product placements made on the films may cause them to try a product, and this rate exceeds 40% in the 15-24 age group worldwide ([http://www.academia.edu/3857509/Urun\\_yerlestirme](http://www.academia.edu/3857509/Urun_yerlestirme) 11.09.2018).

## 2.4. Brand Awareness and Event Marketing Relationship

Activity Marketing can also be defined as Experimental Marketing or Event Marketing with other definitions. All of these concepts point to the same issue. It is possible to express these concepts as "Activity". Events; plays an important role on the target audience and/or potential target groups that companies, institutions, organizations and authorities want to reach. Within each action (activity), the participants gain many benefits such as emotional benefit, sociality, interesting experiences that can meet their needs. There are many types of events, but the study has been evaluated in five subcategories (Sneath et., 2005, p. 375):

1. Sporting events (Professional or amateur)
2. Music and Entertainment
3. Festivals and Fairs
4. Social Responsibility Studies (Hospital, Health Research, Environmental Protection Activities)
5. Art and Culture (Theater, Opera, Art Gallery)

Event marketing has a positive effect on the effect of the target group, the familiarity of the customer with the brand, the image the brand leaves on the target group, the behavior of the target group with the brand, and the emotional connection that the target group establishes with the brand. In this respect, event marketing stands out compared to classical marketing communication as it encourages and enables the participation of the target group to the event (Wohlfeil & Whelan, 2006, p. 645).

## 2.5. Brand Awareness and Social Responsibility Relationship

There is strong statistical evidence to show that consumers are indeed rising to the top of Maslow's hierarchy of needs. At the same time, the trust in traditional institutions, the main pillars of society, such as the church, the state, and the police, to which people are accustomed to belong or many acquire the concepts of social orientation and moral authority; it has declined worryingly, so a number of factors have come together to pose a threat to brands and provide an opportunity. On the other hand, social responsibility activities can be considered as a way to meet the needs of individuals and institutions for the sense of benevolence (Thompson et al., 2006, p. 52). The brand promoted in connection with an event is very likely to be remembered and recognized. Or it may be easier for a well-known brand to increase its awareness. For example, with the social responsibility campaign of Avon brand against breast cancer, it was able to make its name heard much more easily and effectively (Keller, 2003, p. 255).

## 3. Result

The way to create brand awareness is to expose the brand to as many customers as possible, and awareness is a prerequisite for creating an idea and perception about the brand (Gwinner, 1997, p. 145). The concept of brand awareness includes the recognition and remembering of the brand and can be expressed as the power of permission in the consumer's memory (Uztug, 2003, p. 29).

It is also important how the impact of advertising spreads over various criteria (such as awareness, thinking, and purchasing) over time. It is generally accepted that the effect of a particular advertisement will continue not only in the week it is published but also in the next week, and its effect will gradually decrease in the following weeks. This decrease may be due to the memory of the viewers, as well as the consumption of the advertisement being displayed in a very short time. There are three ways that mascots communicate with consumers. These are, respectively, providing an identity to the product, promoting brand personality and ensuring continuity of promotion. Many

studies on this topic have shown that there is a very strong link between mascots and products.

The concept of brand placement is also known as product placement, but while placing an ordinary product in that film or elsewhere does not make a difference, the preference or even the pronunciation of a branded beverage as a beverage is made directly in a planned manner and for promotion.

When looking at the studies in the literature regarding product placement strategies and its effects on recall, it was recorded how many times the brand appeared on the screen in visual product placements and from what angle the camera took the brand, and how this product or brand had an effect on the perception and recall of the consumers. In verbal product placements, it was stated that criteria such as the number of times the product or brand was mentioned in the dialogues, how the product or brand was passed during the speech, the degree of connection with the scene or event, the current tone of voice and emphasis could be effective in remembering the product or brand. In both visual and verbal installation, the product or brand is both mentioned and used, at this point, it has been determined that the actor who uses and mentions the product or brand has a certain effect on recall.

Event marketing positively affects people's familiarity with the brand, the brand image, and the behavioral and emotional bonds people establish with the brand. In this context, event marketing provides the encouragement and participation of the target audience in terms of classical marketing communication.

## References

- Balasubramanian, Siva K., (1994). Beyond Advertising and Publicity: Hybrid Messages and Public Policy Issues. *Journal Of Advertising*, 23.2, 29-46.
- Balkas, E.E. (2006), Which One Is More Important In Advertising? Creativity or Ethics in Designs? With Case Study, *Istanbul Ticaret Universitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(9), 67-80.
- Callcott, M. F., & Lee, W. N. (1995). *Establishing the spokes-character in academic inquiry: historical overview and framework for definition*. ACR North American Advances.
- Chadwick, S., & Thwaites, D. (2005). Managing sport sponsorship programs: Lessons from a critical assessment of English soccer. *Journal of Advertising Research*, 45(3), 328-338.
- Dotz, W., & Husain, M. (2003). *Meet mr. product: The art of the advertising character*. Chronicle Books.
- Elden, M. (2003). *Reklam Yazarligi*, Istanbul: İletisim Yayinlari.
- Ertas, A. (2003). *Urun Yerlestirme İcin Yeni Bir Rol*. *Mediacat Dergisi*. 11.(98), 26.
- Franses, P., & Vriens, M. (2004). Advertising effects on awareness, consideration and brand choice using tracking data. *Erim Report Series Research In Management*
- Gupta, P. B., & Lord, K. R. (1998). Product placement in movies: The effect of prominence and mode on audience recall. *Journal of Current Issues & Research in Advertising*, 20(1), 47-59.
- Gwinner, K. (1997). A model of image creation and image transfer in event sponsorship. *International marketing review*.14(3), 145-158,
- Karrh, J. A. (1998). Brand placement: A review. *Journal of Current Issues & Research in Advertising*, 20(2), 31-49.
- Keller, K. L. (2003). Brand synthesis: The multidimensionality of brand knowledge. *Journal of consumer research*, 29(4), 595-600.
- Mediacat Dergisi, (Subat 2004). Urun Yerlestirmeye Global Bir Yaklasim, 12.109:36-37. <https://www.nadirkitap.com/mediacat-dergisi-subat-2004-sayi-109-krallarla-iletisimin-incelikleri-dergi24146686.html>
- Mizerski, R., (1995). The Relationship between Cartoon Trade Character Recognition and Attitude Toward Product Category in Young Children, *Journal of Marketing*, 59, 58-70.
- Odabasi, Y. ve Oyman, M. (2005), *Pazarlama İletisimi Yonetimi*, MediaCat Kitapları.
- Peirce, K., & McBride, M. (1999). Aunt Jemima isn't keeping up with the Energizer bunny: Stereotyping of animated spokescharacters in advertising. *Sex roles*, 40(11-12), 959-968.
- Phillips, B. J. (1996). Defining trade characters and their role in American popular culture. *The Journal of Popular Culture*, 29(4), 143-158.
- Resnik, A., & Stern, B. L. (1977). Children's television advertising and brand choice: A laboratory experiment. *Journal of Advertising*, 6(3), 11-17.
- Rodrigue, C. S. (2006). *The Impact of Masking of Persuasive Intent On Persuasive Message Effectiveness*. Unpublished doctoral dissertation, Business Administration (Marketing). Unpublished doctoral dissertation, U.S.A: Louisiana State University
- Sneath, J. Z., Finney, R. Z., & Close, A. G. (2005). An IMC approach to event marketing: The effects of sponsorship and experience on customer attitudes. *Journal of Advertising Research*, 45(4), 373-381.
- Thompson, C. J., Rindfleisch, A., & Arsel, Z. (2006). Emotional branding and the strategic value of the doppelgänger brand image. *Journal of marketing*, 70(1), 50-64.
- Tigli, M. (2004) *Bir Aktor Olarak Markalar: Urun Yerlestirme*. 1. Baski. Istanbul: Turkmen Kitabevi
- Tigli, M. (2010). *Pazarlama İletisiminde Sohret Figuru*, Istanbul: Beta Yayinlari.
- Turner, G. (2006). The mass production of celebrity: 'Celetoids', reality TV and the 'demotic turn'. *International journal of cultural studies*, 9(2), 153-165.
- Uztug, F. (2005). *Markan Kadar Konus – Marka İletisimi Stratejileri*, 3. Basim Istanbul: Mediacat Kitapları.
- Valkenburg, P. M., & Buijzen, M. (2005). Identifying determinants of young children's brand awareness: Television, parents, and peers. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 26(4), 456-468.
- Vollmers, S. M.. (1995). *The Impact on Children of Brand And Product Placements In Films*. Unpublished doctoral dissertation, Marketing. U.S.A: The Florida State University
- Wohlfeil, M., & Whelan, S. (2006). Consumer motivations to participate in event-marketing strategies. *Journal of Marketing Management*, 22(5-6), 643-669.
- Youn, S., Sun, T., Wells, W. D., & Zhao, X. (2001). Commercial liking and memory: moderating effects of product categories. *Journal of advertising research*, 41(3), 7-13.
- Zajonc, R. B. (1968). Attitudinal effects of mere exposure. *Journal of personality and social psychology*, 9(2p2), 1. [www.ciadvertising.org](http://www.ciadvertising.org), 11.05.2018
- [http://www.academia.edu/3857509/Urun\\_yerlestirme](http://www.academia.edu/3857509/Urun_yerlestirme) 11.09.2018



# Farklı oranlarda limon suyu ile marine edilmiş sazan etinin (*Cyprinus carpio*) duyuşal parametrelerinin belirlenmesi

Mustafa Öz<sup>1\*</sup>, İlknur Uçak<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Aksaray Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Klinik Öncesi Bilimler Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5264-7103), [ozmustafa@aksaray.edu.tr](mailto:ozmustafa@aksaray.edu.tr)

<sup>2</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Hayvansal Üretim ve Teknolojileri Bölümü, Niğde, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9701-0824), [ilknurucak@ohu.edu.tr](mailto:ilknurucak@ohu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 24 Eylül 2021 ve Kabul Tarihi 03 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1000261)

**ATIF/REFERENCE:** Öz, M., & Uçak, İ. (2021). Farklı oranlarda limon suyu ile marine edilmiş sazan etinin (*Cyprinus carpio*) duyuşal parametrelerinin belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 681-685.

## Öz

Ülkemiz iç sularında uzun zamandan beri sazan yetiştiriciliği ve avcılığı yapılmaktadır. Türkiye'de balık yetiştiriciliği sazan ile başlamıştır. Dünya ülkelerinde yetiştiriciliği, avcılığı ve tüketimi oldukça fazla olmasına rağmen ülkemizde tüketici tarafından çok tercih edilen bir balık olarak görülmemektedir. Bazı tüketiciler gerek etinin kılıçlıklığı olması, gerek tadının yavan olması ve avlandığı ya da yetiştirildiği ortama bağlı olarak tadındaki çamurumsu kokudan dolayı çok fazla tercih etmemektedir. Fakat Anadolu'da birçok şehirde çok sevilen ve tercih edilen bir balık türüdür. Sazanın bazı bölgelerde sevilerek tüketilmesi, uygulanan geleneksel soslama ve pişirme yöntemlerinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada sazanın Anadolu'da sevilerek tüketilme sebebi olan limon suyu ve tuz muamelesinde kullanılan tuz limon oranının belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmada Aksaray ili Mamasin barajından avlanan sazan (1500-2000 gr) taze olarak alınmış ve fileto edildikten sonra farklı oranlarda limon suyu ve tuz ile muamele edilmiştir. Hazırlanan limon-tuz solüsyonlarında farklı sürelerde (1, 2, 3 saat) bekletildikten sonra balık etleri ızgarada pişirilerek duyuşal değerlendirme için panelistlere sunulmuştur. Deneyimli panelistler balık örneklerini, tuz ve limon seviyeleri ile birlikte genel beğeni olarak değerlendirmiştir. Araştırma sonucunda %40 ve 50 oranlarında limon suyu ve %10 tuz ile 2 saat marine edilen sazan etinin daha fazla beğenildiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Limon suyu, marinyasyon, sazan, duyuşal kalite

## Determination Of Sensory Parameters Of Carp meat (*Cyprinus carpio*) Marinated With Different Lemon Juice Ratios

### Abstract

Carp farming and fishing has been done for a long time in the inland waters of our country. Fish farming in Turkey started with carp. Although its cultivation, hunting and consumption is quite high in the world countries, it is not viewed as a highly preferred fish in our country. Some consumers do not prefer it too much because of its awn meat, its bland taste, and its muddy taste depending on the environment in which it is hunted or grown. However, it is a very popular and preferred fish species in many cities in Anatolia. The popular consumption of carp in some regions is due to the traditional dressing and cooking methods applied. In this study, it was aimed to determine the ratio of lemon juice and salt used in salt treatment, which is the reason why carp are loved and consumed in Anatolia. In the study, carp (1500-2000 gr) caught from the Mamasin dam in Aksaray province were freshly taken and after filleted, they were treated with lemon juice and salt at different rates. After being kept in the prepared lemon-salt solutions for different periods (1, 2, 3 hours), the fish meat was cooked on the grill and presented to the panelists for sensory evaluation. Experienced panelists rated the fish samples, along with salt and lemon levels, as general appreciation. As a result of the research, it was determined that carp meat marinated for 2 hours with 40% and 50% lemon juice and 10% salt was preferred more.

**Keywords:** Lemon juice, marination, common carp, sensory quality

\* Sorumlu Yazar: [ozmustafa@aksaray.edu.tr](mailto:ozmustafa@aksaray.edu.tr)

## 1. Giriş

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde balık, zengin besin içeriği nedeniyle önemli bir besin kaynağıdır. Esansiyel yağ asitleri ve çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) içeren balık yağları insan sağlığında önemli bir yere sahiptir. Tüketiciler sağlıklı, kaliteli, doğal ve taze balık ürünleri talep etmektedir (Öz ve ark., 2017).

Sazan, çevresel koşullara çok dayanıklı olması ve yaşamsal isteklerinin düşük olması sebebiyle dünya genelinde en geniş alanda yayılım gösteren balık türlerinin başında gelir. Çok eski çağlardan beri iç sularda hem avcılığı hem de yetiştiriciliği yapılmaktadır. Ülkemizde de yine aynı şekilde Akdeniz bölgesinden Doğu Anadolu'nun yüksek dağ göllerine kadar çok geniş bir yaşam alanına sahiptir.

Dünya genelinde en çok yetiştirilen balık türlerinden birisi Cyprinus carpio'dur. 2018 yılında yetiştirilen yaklaşık 80 milyon ton olan dünya su ürünleri yetiştiricilik üretiminin 4 189 524 ton'u sazan üretiminden kaynaklanmaktadır ve bu üretim miktarı ile sazan Dünya genelinde yetiştirilen su ürünleri arasında 5. sırada, balık türleri arasında 4. sırada ve cyprinidler arasında ise üçüncü sırada yer alır (FAO, 2020). Sazan dünyada en yaygın yetiştiriciliği yapılan ekonomik öneme sahip balık türlerinden biridir. Sazanın yetiştiriciliğinin başlangıcı Milattan Önceki yıllara kadar uzanmaktadır (Doğan, 2011). Sazan Roma İmparatorluğu döneminde Tuna Nehri'nden yakalanarak Roma'ya gönderilmiş ve yetiştiriciliğine başlanmıştır. Sazan yetiştiriciliği manastırlardaki göletlerde milattan sonra 6. yüzyıla kadar devam etmiştir. Kiliseler tarafından MS 6. yüzyılda havuzlarda sazan yetiştiriciliği teşvik edilmiştir. Bazı dini günlerde özellikle de etsiz oruç günlerinde balıklar kolayca bulunabildiğinden dolayı manastırlara ait göletlerde sazan yetiştiriciliği kilise tarafından dikte edilmiştir (Stickney, 2000). Sazan yetiştiriciliği her ne kadar yarı doğal alanlarda başlamış olsa da yeni döl alma tekniklerinin uygulanmaya başlanmasıyla kuluçkahanelerde döl almak ve üretimi arttırmak mümkündür. Ayrıca Sperm hücreleri, uygun solüsyonlar sayesinde hem kısa süreli hem de kriyoprezervasyon tekniği ile uzun süreli olarak saklanabilmektedir (İnanan ve Kanyılmaz, 2020; Kanyılmaz ve İnanan, 2020).

Ülkemizde su ürünleri yetiştiriciliği sazan yetiştiriciliği ile başlamıştır. 1986 yılında Türkiye su ürünleri yetiştiriciliği 3075 ton olarak gerçekleşmiş ve bu üretimin %66,7'si sazan üretimidir (Doğan, 2011). Daha sonraki yıllarda yeni türlerin kültüre alınmasıyla sazan türlerine olan ilgi giderek azalmış ve yetiştiriciliği neredeyse bitme noktasına gelmiştir. Sazanın karnivor türlere göre daha çevreci olması ve beslemesinin daha kolay olması sebebiyle mutlaka yeniden yetiştiriciliğini arttırmak gerekmektedir.

Türkiye gibi tamamen karnivor türlere dayalı bir yetiştiricilik modeline sahip olan ülkelerin gelecekte sıkıntıya düşmemesi ve büyümeyi sürdürülebilir hale getirebilmesi için sazan

yetiştiriciliği oldukça önemlidir (Öz ve Üstüner, 2021). Sazan üretiminin artması ile birlikte bu tarz araştırmalar daha da önemli bir konuma gelecektir.

Ülkemizde balık tüketiminin artırılmasına yönelik çalışmaların yapılması ve yerel balık türlerinin tüketiminin özendirilmesi oldukça önemlidir (Öksüz ve ark., 2019). Pazar bulunmadığı için yetiştiriciliği yapılmayan; ancak, potansiyel bir yetiştiriciliğe sahip olan sazanın balık köftesi olarak tüketilmesi tavsiye edilmiştir (Yanar ve Fenercioğlu, 1999). Bir çok balık türünün et kalitesini, raf ömrünü ve duyu kalitesini arttırmak için bir çok araştırma yapılmaktadır. Et kalitesinin balığın tükettiği yemlerle doğrudan ilişkili olması sebebiyle bazı etken maddeler balık yemlerine ilave edilmekte, raf ömrüne, yağ asitlerine ve besin içeriğine olan etkileri araştırılmaktadır (Öz, 2018a; Öz, 2018 b; Öz ve ark., 2021; Öz, 2017).

Sazan, özellikle Uzakdoğu ve Doğu Avrupa'da çok sevilerek tüketilen bir balık türü olmasına rağmen ülkemizde çok sevilerek tüketilen bir balık türü değildir. Balığın kılçıklı olması ve bazı sulak alanlardan avlanan balıkların yosun ve çamurumsu kokması sebebiyle çok tercih edilmemektedir. Sazanın sevilerek tüketilebilmesi için bu alanda çalışmalar yapmaya gereksinim duyulmaktadır. Bazı bölgelerde balık soslamada limon suyu ve tuz kullanıldığı ancak literatürde kullanım oranlarıyla ilgili herhangi bir veri bulunmadığı görülmüştür. Bu araştırmada Anadolu'da geleneksel olarak kullanılan limon suyu-tuz sosunun içeriğinin belirlenmesi ve literatüre kazandırılması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırmada kullanılan sazanlar Aksaray ili sınırlarında bulunan Mamasın barajında avlanan balıkçılardan taze olarak temin edilmiştir. Balıkların pulları ve iç organları temizlendikten sonra fileto çıkartma işlemi yapılmış ve eşit parçalar şeklinde dilimlenmiştir.

Çalışmada 10 farklı oranda hazırlanan tuz solüsyonlarında balıklar 1, 2 ve 3 saat bekletildikten sonra panelistlerin beğenisine sunulmuş ve panelistler beğenilerini az tuzlu, tuzu iyi, çok tuzlu ve aşırı tuzlu olarak belirleyerek 1-10 arasında genel değerlendirme puanı vermiştir (Tablo 1). Marinasyon için kullanılacak tuz oranları belirlendikten sonra limon oranları belirlenmiştir. Marinasyonda taze olarak sıkılmış limon suyu kullanılmıştır (Şekil 1). Panelistler tarafından en fazla beğeni gören tuz oranı %10 ve marinasyon süresi 2 saat olduğundan bütün gruplara % 10 tuz ve 10 farklı oranda da limon suyu 1, 2 ve 3 saat süre ile uygulanmıştır (Tablo 2). Araştırmada kullanılan balık filetolarının üzeri tamamen kapanıncaya kadar hazırlanan limon-tuz solüsyonu ilave edilmiştir (Şekil 2). Limon – tuz solüsyonunda balıklar 1, 2 ve 3 saat bekletildikten sonra ızgarada pişirilerek panelistlerin beğenisine sunulmuştur. Deneyimli 10 panelist pişmiş balık etlerini tadararak değerlendirmiş ve az limonlu, normal, ekşi, çok ekşi olarak işaretleme yapmışlar, ayrıca 1-10 arasında genel değerlendirme puanı vermiştir.

Tablo 1. Tuz oranının belirlenmesi

Tuz (%)	1	5	7	10	12	15	20	25	30	35
Su (%)	99	95	93	90	88	85	80	75	70	65
Sonuç	Az tuzlu									
	Tuzu iyi									
	Çok tuzlu									
	Aşırı tuzlu									
Genel değerlendirme puanı										
<i>Genel değerlendirme puanları; en yüksek 10 puan, en düşük 1 puan</i>										



Tablo 2. Limon oranının belirlenmesi

Limon (%)	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Su (%)	90	85	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Tuz (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Sonuç	Az limonlu										
	Normal										
	Ekşi										
	Çok ekşi										
Genel değerlendirme puanı											

Genel değerlendirme puanları; en yüksek 10 puan, en düşük 1 puan



Şekil 1. Limon suyunun hazırlanması



Şekil 2. Balıkların hazırlanan solüsyonda bekletilmesi

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Balıkların filetoalarının asit ve tuz ile muamele edilmesi işlemine marinasyon denir ve gıda muhafazasında bilinen en eski metotlardan biridir (Kaya, 2009; Erkan ve ark, 2000; Olgunoğlu, 2007). Marinasyon işlemi ile gıdaların raf ömrü uzatıldığı gibi farklı lezzette ürünler de eldilir (Sen ve Temelli, 2003). Marinasyon işlemi balığın asit ve tuz karışımının etkisiyle korunması prensibine dayanmaktadır. Bu sayede balığın muhafaza süresi ve lezzetinin değiştiği bildirilmiştir (Varlık ve ark, 2000; Gökoğlu ve ark, 2004; Szymczak ve Kolakowski, 2012). Başka bir araştırmada da marinasyon işlemi ile balığın ekonomik değerinin artırılabilceği rapor edilmiştir (Şahiner, 2019). Bu araştırmada sazan filetoalarına farklı oranlarda ve farklı sürelerde limon suyu ve tuz uygulanmış, uygulama sonrasında da balıkçileri panelistlerin beğenisine sunulmuştur. Deneyimli panelistlerin verdiği puanlamalar detaylı olarak Tablo 3 ve Tablo 4 te verilmiştir.

Tablo 3. Farklı tuz oranları uygulamasına panelistler tarafından verilen genel değerlendirme puanları

1. saat	Tuz oranları									
Tuz (%)	1	5	7	10	12	15	20	25	30	35
Su (%)	99	95	93	90	88	85	80	75	70	65
Genel değerlendirme puanı	2	5	7	8	9	9	10	6	5	3
2. saat	Tuz oranları									
Tuz (%)	1	5	7	10	12	15	20	25	30	35
Su (%)	99	95	93	90	88	85	80	75	70	65
Genel değerlendirme puanı	2	5	9	10	9	9	7	6	4	2
3. saat	Tuz oranları									
Tuz (%)	1	5	7	10	12	15	20	25	30	35

Su (%)	99	95	93	90	88	85	80	75	70	65
Genel değerlendirme puanı	2	6	10	8	6	5	5	4	3	2

Genel değerlendirme puanları 10 panelist tarafından verilen ortalama puanları göstermektedir

Araştırmamızda birinci saatin sonunda en yüksek puanı %20 tuz içeren grup, ikinci saatin sonunda %10 tuz içeren grup ve üçüncü saatin sonunda % 7 tuz içeren grup almıştır. Birinci saat sonunda

en yüksek puanı alan grupta tuz miktarının fazla olması ve üçüncü grubun da bekleme süresinin üç saat olması sebebiyle iki saatlik bekleme süresinin daha uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Tablo 4. Farklı limon suyu oranları uygulamasına panelistler tarafından verilen genel değerlendirme puanları

1. saat	Limon, tuz ve su oranları										
Limon (%)	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Su (%)	90	85	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Tuz (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Genel değerlendirme puanı	1	2	4	5	7	8	9	9	10	8	5
2. saat	Limon, tuz ve su oranları										
Limon (%)	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Su (%)	90	85	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Tuz (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Genel değerlendirme puanı	1	3	4	5	9	10	10	10	9	7	4
3. saat	Limon, tuz ve su oranları										
Limon (%)	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Su (%)	90	85	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Tuz (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Genel değerlendirme puanı	1	4	5	6	9	10	10	9	7	5	3

Genel değerlendirme puanları 10 panelist tarafından verilen ortalama puanları göstermektedir

Panelistlerin verdiği puanlar incelendiğinde birinci saatin sonunda en yüksek puanı %70 limon suyu içeren grup alırken ikinci saatin sonunda %40, %50 ve %60 limon suyu içeren gruplar en yüksek puanlara ulaşmıştır. Araştırmamızda üçüncü saatin sonunda ise en iyi değerlendirme puanını %40 ve %50 limon içeren grup almıştır.

Araştırma sonucunda bekleme süreleri, kullanılan tuz ve limon oranları dikkate alındığında en iyi tuz oranının %10 ve en ideal limon suyu oranının ise %40 ile %60 arasında olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca bekleme süresi de iki saat olarak önerilmektedir. Bu çalışmada %70 ve üzeri limon suyu kullanılan gruplarda balıkların pişirilmesi esnasında etlerin daha kolay parçalanıp dağıldığı gözlenmiştir.

Aynalı sazanlarda yapılan bir çalışmada %10 luk tuz ile hazırlanan salamurada 24 saat bekletilen filetolar duyuşal açıdan beğenilmezken % 0,5 Öjenol içeren salamura solüsyonu içerisinde 12 saat bekletilen sazanlar beğeni toplamış ve balığın yosunumsu kokusunun giderildiği rapor edilmiştir (Can ve ark., 2011).

Domates salçası, limon suyu, tuz, ayçiçek yağı, sarımsak, soğan, kekik ve bazı baharatlarla hazırlanan soslarda bekletilen sazanın kontrol gurubuna göre daha fazla beğenildiği bildirilmiştir (Can, 2007). Balık etinin raf ömrünü ve lezzetini arttırmak için hazırlanan katkıları bazen de olumsuz etki yapabilmektedir. Sazan etinden yapılan köfteye ilave edilen kekiğin çok yoğun aromatik etkisinden dolayı %0,1'in üzerindeki

konsantrasyonlarda ürünün lezzetini ve kokusunu olumsuz etkilediği bildirilmiştir (Erol ve İlhak, 2015).

Sazan etinden hazırlanan köfte içerisine ilave edilen soğan ve sarımsağın köftenin aroma, koku ve lezzeti üzerinde olumlu etki yaptığı ayrıca köftenin pişirilmesi esnasında ürünün görüntüsüne olumlu katkı yaptığı bildirilmiştir (Yanar ve Fenercioğlu, 1999).

Sazan filetolarına uygulanan limon suyu ve tuzun balık etinin lezzetinde değişime sebep olduğu ve kontrol gurubuna göre daha çok beğenildiği görülmektedir. Uygulanan limon suyu ve tuzun balık etinin marinasyonuna katkı sağladığı düşünülmektedir.

Dünyanın birçok yerinde Sazan bol bulunan balıklardan biri olmasına rağmen bazı bölgelerde çok sevilerek tüketilmemektedir. Küçük boyda olanlar kılçıklı olması sebebiyle tercih edilmezken büyük olanlarda da çamur ve yosun kokusu nedeni ile tüketiciler tarafından tercih edilme oranı düşük bir balık türüdür. Sazanın direkt olarak tüketimi zayıf olduğundan tüketiciye sevdirmek için bu alanda daha fazla çalışma yapmaya gereksinim vardır.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada sazanın Anadolu'da bazı bölgelerde sevilerek tüketilme sebebi olan limonlu sosun içeriğinin belirlenmesi ve literatüre kazandırılması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda %10 tuz, %40-60 limon suyu ve su (tuz ve limon suyundan sonra geri kalan kısmı su ile tamamlanmıştır) ile hazırlanan sos içerisinde iki saat bekletildikten sonra taze yada dondurulmuş olarak

tüketilmesi önerilmektedir. Bu araştırma sonuçlarının ülkemizde neredeyse bütün sulak alanlarda avcılığı yapılan sazanın tüketiminin artmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ancak sazanın et kalitesinin ortaya koyulduğu ve farklı tüketim şekillerinin denendiği daha fazla araştırma yapmaya gerek duyulmaktadır.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 2019-023.

## Kaynakça

- Can, Ö. P. (2007). Soslu aynalı sazın (Cyprinus carpio L., 1758) filetolarının raf ömrünün belirlenmesi. Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi. Elazığ.
- Can, P.Ö., Yalçın, H., Arslan, A. (2011). Farklı sürelerde öjenol'lü salamura solüsyonunda bekletilen aynalı sazın balığı (Cyprinus carpio L., 1758) filetolarının kalite kriterlerinin değerlendirilmesi. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 2(3), 17-27.
- Doğan, K., (2011). Sazan İşletmeciliği ve Pazarlaması. Sazan Balığı Üretim Tekniği (pp.181-203), İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınevi.
- Erkan, N., Metin, S., Varlık, C., Baygar, T. ve Özden, Ö. (2000). Modifiye atmosferle paketlenen (MAP) paneli alabalık marinatlarının raf ömrü üzerine etkisi. Türk J Vet Anim Sci., 24, 585-591.
- Erol, P., & İlhak, O. İ. (2015). Sodyum Laktat ve Timol'ün Aynalı Sazan Balığı'ndan (Cyprinus carpio L.) Yapılan Köftelerin Bazı Mikrobiyolojik ve Duyusal Nitelikleri Üzerine Etkisi. Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 12(3), 153-161.
- FAO. (2020). The state of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome: FAO, Rome, Italy.
- Gökoğlu, N., Cengiz, E., & Yerlikaya, P. (2004). Determination of the shelf life of marinated sardine (Sardina pilchardus) stored at 4 C. Food control, 15(1), 1-4.
- İnanan, B. E., & Kanyılmaz, M. (2020). Effect of alpha-lipoic acid on oxidative stress, viability and motility in the common carp (Cyprinus carpio) spermatozoa after short-term storage and cryopreservation. Cryobiology, 94, 73-79.
- Kanyılmaz, M., & Inanan, B. E. (2020). DNA damage, oxidative stress, decreased viability and motility in common carp (Cyprinus carpio L.) spermatozoa induced by tryptophan, phenylalanine and cysteine amino acids during short-term storage. Turkish Journal of Zoology, 44(3), 281-290.
- Kaya, G. K. (2009). Marine Edilmiş Levrek (Dicentrarchus labrax (L., 1758)), Çipura (Sparus aurata (L., 1758)) ve Karabalıkta (Clarias gariepinus (Burchell, 1822)) Depolama Süresince Duyusal, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Değişimler (Doctoral dissertation, University of Mersin).
- Olgunoğlu, İ. A. (2007). Marine Edilmiş Hamside (Engraulis engrasicholus L., 1758) Duyusal, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Değişimler. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, 122.
- Öksüz, A., Dikmen, M., Alkan, Ş. B., Yaylalı, O., Kaplan, T., & Demirtaş, S. (2019). Beyşehir Gölünden Avlanan Sazan Ve Sudak Balıklarının Besin Ve Yağ Asidi Bileşenlerinin Karşılaştırılması. Aquatic Research, 2(4), 174-181.

- Öz, M., Üstüner, E. (2021). Sazan (Cyprinus carpio Linnaeus, 1758) Yetiştiriciliği. Ilıman İklim Balıkları Yetiştiriciliği. Editör, Suat DİKEL. Akademisyen kitabevi, ISBN: 978-625-7275-63-7, DOI: 10.37609/akya.559.
- Öz, M., Dikel, S., Durmuş, M., & Özoğul, Y. (2017). Effects of black cumin oil (Nigella sativa) on sensory, chemical and microbiological properties of rainbow trout during 23 days of storage at 2±1 C. Journal of Aquatic Food Product Technology, 26(6), 665-674.
- Öz, M., Tatil, T., & Dikel, S. (2021). Effects of boric acid on the growth performance and nutritional content of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Chemosphere, 129895.
- Öz, M., (2017). Çörek otu (nigella sativa) yağının gökkuşuğu alabalığının (oncorhynchus mykiss) karaciğer yağ asidi profiline etkisi. Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi, 28(1), 55-59.
- Öz, M. (2018a). Effects of black cumin (Nigella sativa) oil on ammonia and biogenic amine production in rainbow trout. Indian Journal of Animal Research, 52(2), 265-269.
- Öz, M. (2018). Effects of garlic (Allium sativum) supplemented fish diet on sensory, chemical and microbiological properties of rainbow trout during storage at- 18 C. LWT, 92, 155-160.
- Sen, M. K. C., & Temelli, S. (2003). Microbiological and chemical qualities of marinated anchovy prepared with different vegetable additives and sauce. Revue de Médecine Vétérinaire. 154(11), 703-707.
- Stickney, R. R. (2000). Encyclopedia of aquaculture. Sayfa 147. John Wiley & Sons, Inc. New York
- Szymczak, M., & Kolakowski, E. (2012). Losses of nitrogen fractions from herring to brine during marinating. Food chemistry, 132(1), 237-243.
- Şahiner, C., (2019). Sudak Balığı (Sander Lucioperca) Marinatlarının Soslanmasında Farklı Oranlarda Nar (Punica Granatum) Suyu Kullanımının Marinatların Fiziksel, Kimyasal, Mikrobiyolojik Ve Duyusal Kalitelerine Etkisi. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.
- Varlık, C., Erkan, N., Metin, S., Baygar, T., & Özden, Ö. (2000). Marine Balçek Köftesinin Raf Ömrünün Belirlenmesi. Turk J Vet Anim Sci, 24, 593-597.
- Yanar, Y., & Fenercioğlu, H. (1999). The utilization of carp (Cyprinus carpio) flesh as fish ball. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 23(4), 361-366.



# Bitkilerin Abiyotik Stres Koşullarıyla Başa Çıkmasına Yardımcı Strigolaktonlar

İlkay Yavaş<sup>1\*</sup>, Yelda Emek<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Koçarlı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Aydın, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6863-9631), [iyavas@adu.edu.tr](mailto:iyavas@adu.edu.tr)

<sup>2</sup> Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Aydın, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1095-3908), [yelda@adu.edu.tr](mailto:yelda@adu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 14 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 24 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009438)

**ATIF/REFERENCE:** Yavaş, İ. & Emek, Y. (2021). Bitkilerin Abiyotik Stres Koşullarıyla Başa Çıkmasına Yardımcı Strigolaktonlar. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 686-690.

## Öz

Bitki hormonları ya da fitohormonlar, bitkilerde az miktarda bulunan, doğal olarak oluşan, çevresel streslere (abiyotik/biyotik) karşı dayanıklılığın oluşmasına etki eden, bitki büyümesi, gelişimi, çevre ve diğer organizmalar ile bitki arasındaki etkileşimde önemli role sahip olan organik maddelerdir. Köklerde sentezlenip, sürgünlere taşınımı gerçekleşen, karotenoidlerden türevlenen strigolaktonlar (SL) ise, bitkide sürgün dallanmasını baskılayan, yaşlanma, kök büyümesi, besin elementi eksikliğinde, mineral alımını artırmak için Arbusküler Mikorizal Fungus (AMF) ile simbiyotik ilişkiyi teşvik eden, bunun sonucunda su ve mineral madde alımını artıran yeni bir bitki hormonu olarak bilinmektedir. Ayrıca kuraklık, sıcaklık, ağır metal, tuz stresi ve mineral yetersizliği gibi çeşitli abiyotik stres koşullarında da etkili olmaktadır. Su stresi altında, SL'lar sürgün büyümesini engellerken (sitokinin ile etkileşim), su alımını artırmak için, yan kök gelişimini teşvik etmektedir. Absisik asit ile etkileşimde, SL'lar stoma yoğunluğunu düzenlemekte, tohum dormansisini ortadan kaldırarak, çimlenmeyi artırmaktadır. AMF ile olan birliktelik, bitkide strigolakton üretimine de etkide bulunarak, tuz stresinin etkilerini hafifletebilmektedir. Besin elementi, özellikle azot ve fosfor eksikliğinde, bitkide sürgün dallanmasının baskılanmasına yol açan ve simbiyotik ilişkiyi teşvik eden yüksek miktarda SL üretimine neden olmaktadır. AMF, hüfler aracılığı ile suyun ve azot, fosfor gibi besin maddelerinin teminini sağlamaktadır. Ağır metal stresi koşullarında, SL'ların dışarıdan uygulanması, ağır metal kaynaklı oksidatif stresi azaltmakta, klorofil miktarını, fotosentezi, antioksidan enzim aktivitelerini artırmakta, lipid peroksidasyonu ile birlikte Reaktif oksijen türlerinin (ROS) seviyesini azaltmakta ve bitki büyümesini teşvik etmektedir. Böylece bitkiler, ağır metal ile bulaşık alanlarda fitohormonları dengeleyerek daha iyi hayatta kalabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Abiyotik stres, AMF, Fotosentez, Strigolakton, Sürgün.

## Strigolactones Help Plants to Cope with Abiotic Stress Conditions

### Abstract

Plant hormones or phytohormones are organic substances that are found in small amounts in plants occur naturally, have an important role in plant growth, development, the environment and the interaction between the plant and other organisms. On the other hand, strigolactones (SL) derived from carotenoids, which are synthesized in the roots and transported to the shoots, suppress shoot branching in the plant. It is known as a new plant hormone that increases water and mineral substance intake by promoting symbiotic relationship with Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) to increase mineral substance intake in senescence, root growth, nutrient deficiency. It is also effective in various abiotic stress conditions such as drought, heat, heavy metal, salt stress and mineral deficiency. Under water stress, SLs inhibit shoot growth (interaction with cytokinin) while promoting lateral root growth to increase water uptake. In interaction with abscisic acid, SLs regulate stomatal density, remove seed dormancy and increase germination. The association with AMF can alleviate the effects of salt stress by affecting the production of strigolactone in the plant. The nutrient element, especially nitrogen and phosphorus deficiency, causes the production of high amount of SL, which causes the suppression of shoot branching and promotes the symbiotic relationship in the plant. AMF provides the water and nutrients such as nitrogen and phosphorus through hyphae. Under heavy metal stress conditions, external application of SLs reduces heavy metal-induced oxidative stress, increases the amount of chlorophyll, photosynthesis, antioxidant enzyme activities, decreases the level of reactive oxygen species (ROS) together with lipid peroxidation and promotes plant growth. Thus, plants can survive better in heavy metal-contaminated areas by balancing phytohormones.

**Keywords:** Abiotic stress, AMF, Photosynthesis, Strigolactone, Shoot

\* Sorumlu Yazar: [iyavas@adu.edu.tr](mailto:iyavas@adu.edu.tr)



## 1. Giriş

### 1.1. Strigolaktonlar (SL)

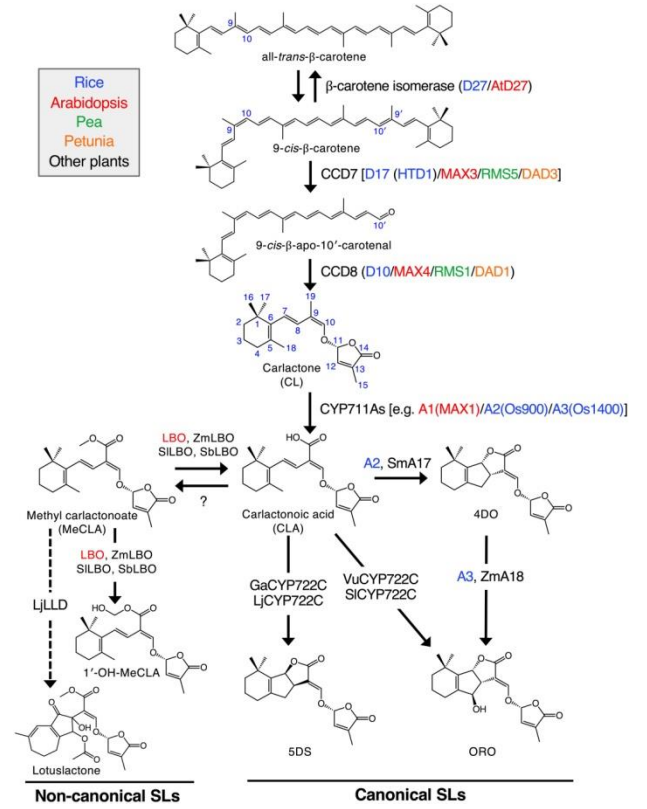
Bitkilerde büyüme ve gelişme olaylarında iç ve dış faktörler birlikte rol alırlar (Kumlay ve Eryiğit, 2011). Bitkiler değişen çevre koşullarına uyum sağlamak için büyüme, gelişme ve metabolizmayı değiştirerek esneklik geliştirmişlerdir. Bu esnekliğin sağlanmasında bitki büyüme hormonlarının da rol aldığı bilinmektedir (Gözükırmızı ve Karlık, 2019). Günümüze kadar oksin, brassinosteroid, sitokinin, gibberellinler, etilen, jasmonik asit, strigolakton (SL), absisik asit ve salisilik asit adı verilen dokuz farklı bitki hormonu keşfedilmiştir (Druege ve ark., 2016; Verma ve ark., 2016)

Strigolaktonlar, sürgün dallanmasını engelleyen, gövde kalınlaşmasını, yaprak yaşlanmasını, kök tüylerinin uzamasını ve birincil kök büyümesini, lateral kök gelişimi ve adventif kök oluşumunu, bitki-toprak mikroorganizmaları arasındaki simbiyotik ilişkiyi teşvik etmek amacıyla üretilen yeni bir bitki hormonu olarak tanımlanmıştır (Smith, 2014; Umehara ve ark., 2008; García-Garrido ve ark., 2009; Umehara, 2011; Al-Babili ve Bouwmeester, 2015; Ueda ve, Kusaba, 2015; Kopta ve ark., 2017; Waters ve ark., 2017). Ayrıca besin elementi eksikliklerinde (azot ve fosfor) üretimi artmakta ve çevresel koşullara adaptasyonu sağlamaktadır (Umehara, 2011).

Köklerde üretilen strigolaktonlar, ksilemler yoluyla bitkinin üst kısımlarına taşınır ve lateral tomurcukların büyümesini engeller (Ferguson ve Beveridge, 2009). Strigolaktonlar, sürgünlere uygulandığında sürgün uzunluğunu kısaltır. Oksinler, lateral tomurcuklar üzerindeki engelleyici etkiyi strigolakton yoluyla gerçekleştirir (Brewer ve ark., 2009).

Strigolaktonlar, terpenler ya da izoprenler adı verilen yapı taşlarından oluşan karotenoidlerden üretilmektedir. Karotenoidler ve dolayısıyla strigolaktonlar bu nedenle terpenoidler veya izoprenoidler olarak tanımlanabilmektedir (Smith, 2014). SL'lerin biyosentezi  $\beta$ -karotenlerden köken alır. Sentez yeri sitoplazma ve plastidlerdir. Plastidlerde, DWARF27 (D27), Karotenoid Cleavage Dioxygenaz7 (CCD7) ve Karotenoid Cleavage Dioxygenaz8 (CCD8) enzimlerinin tepkimeleri ile karlakton (CL) molekülü sentezlenir. Sentezlenen CL sitoplazmaya taşınır ve orada MAX1 enzimiyle ya strigol ve orobankol gibi moleküllere dönüşür ya da *Arabidopsis thaliana* bitkisinde karlaktonik asit üzerinden yine bir SL benzeri bir bileşik olan metil karlaktona dönüşür. SL'lerin merkezi ABC olarak nitelendirilen bir trisiklik laktondur. Bu taşıyıcı moleküle enol eter bağı ile bağlanan ve D halkası olarak adlandırılan 9  $\alpha,\beta$ -doymamış furaron bağlanmıştır. Bunlar iki tipe ayrılır: strigol ve orobankol (Lopez- Obando ve ark, 2015). Strigolaktonların biyosentezi ile ilgili olarak çalışmalar halen devam etmektedir. En son önerilen SL biyosentez yolağı ise Mashiguchi ve ark. (2000) tarafından önerilmiştir (Şekil 1).

SL'ların, sürgün dallanmasını engellemesi nedeniyle, bahçe bitkilerinde dal sayısını belirlemede etkili olmaktadır. Sentetik strigolaktonun (GR24) ekzojen olarak uygulanması, *Arabidopsis*'in çiçek salkımlarında, bezelye ve okaliptüs bitkilerinin gövdelerinde sekonder büyümeyi artırmıştır. Sekonder büyümenin neden olduğu bu biyomas artışı ile gövde daha da kuvvetlenerek, tahıllarda yatmanın önüne geçilebilir (Takahashi ve Asami, 2018).



Şekil 1. Strigolaktonların Biyosentez yolağı (Mashiguchi ve ark., 2000)

Strigolaktonlar, bitki fizyolojisi üzerine sinyal molekülü, ayrıca bitki gelişimi ve büyüme düzenleyicisi olarak önemli role sahiptir. SL, fosfat eksikliği koşullarında, yanal kök oluşumunu uyararak, kök yapısını etkilemekte; fakat fosfat düzeyinin yeterli olması durumunda, *A. thaliana*'da bu süreci baskılamaktadır. Strigolaktonlar ayrıca, Arbüsküler mikorizal funguslarda (AMF) presimbiyotik hiflerin dallanmasını ya da parazitik bitki tohumlarının çimlenmesini teşvik ederek sinyal görevi görmektedir. Türe bağlı olarak değişmekle birlikte, fosfor eksikliğinde, AMF ile simbiyotik ilişkiyi artırmak için, köklerden strigolakton salgısı artış göstermektedir (Carvalho ve ark., 2019).

Strigolaktonlar, cadı otu veya süpürge otu gibi uzun yıllar dormansi durumunda olan parazit bitkilerin çimlenmesini uyarmaktadır. Ayrıca diğer bitki büyüme düzenleyicilerini de etkileyerek, tohumlarda dormansi/çimlenmeyi düzenlemektedir. Toh ve ark. (2012), SL'ların *Arabidopsis*'te tohum çimlenmesini düzenleyen gibberellik asit (GA) ile sinerjik etki gösterdiğini vurgulamışlardır. SL'lar ayrıca oksin hormonunun taşınmasını da engelleyerek, bitkilerde dallar arasındaki rekabeti artırmaktadır (Önay, 2019).

### 1.2. Abiyotik Stres ve Strigolaktonlar (SL)

Bitki hormonlarının yeni bir sınıfı olan strigolaktonlar, bitki biyotik ve abiyotik stres tepkilerinde önemli rol oynamaktadır (Saeed ve ark., 2017; Banerjee ve Bhadra, 2020).

*Arabidopsis* bitkisinde SL-eksik mutantlara, dışarıdan SL uygulaması, kuraklık stresinin etkilerini hafifletmiştir. Kuraklığa duyarlı genotiplerde ise, stomatal iletkenliğini artırarak, absisik asit (ABA) nedeniyle meydana gelen stoma kapanması azalmıştır (Van Ha ve ark., 2014). SL'ler ayrıca bitkilerde tomurcuk büyümesini düzenleyen sitokinin ile de antagonistik olarak hareket etmektedir.

Tuz stresi koşullarında, *Panocratium maritimum* bitkisine GR24 ön uygulamasının, antioksidan savunma sistemini uyarak, tolerans seviyesini artırabilme potansiyeli olduğu saptanmıştır (Gök Özel, 2018). Benzer şekilde soya fasulyesine tuzlu koşullarda 5 µM GR24 uygulaması, herhangi bir etkide bulunmazken, strigolakton seviyesinin artması (10 µM GR24), stresin oluşturduğu zararın hafiflemesine neden olmuştur (Demirbaş ve ark., 2015). Ling ve ark. (2020), çeltikte tuz stresi koşullarında strigolakton uygulamasının, bitki boyu, kök uzunluğu, süperoksit dismutaz, peroksidaz seviyesini artırdığını fakat malondialdehit miktarını azalttığını vurgulamışlardır. Bu nedenle strigolakton (GR24) konsantrasyonları, çeltik fidelerindeki tuz stresinin zararını hafifletmekte ve yüksek tuz koşullarına uyumu artırmaktadır. Tuz stresi koşullarında buğday bitkisine GR24 ön uygulaması ise, askorbat glutasyon döngüsü enzim sistemini uyarak tuz koşullarına toleransı sağlamıştır (Önay, 2019). Tuz koşullarında, GR24 uygulamasına bağlı olarak buğday genotiplerinin, net CO<sub>2</sub> asimilasyon oranı da artmıştır (Kausar ve Shahbaz, 2017). Bir başka çalışmada ise, tuz stresinde ayçiçeğine GR24 uygulamasının, kök ve sürgün büyümesini olumlu yönde etkilediği, tuzun zararlı etkilerini hafiflettiği, fakat fotosentetik pigmentler üzerine çok etkili olmadığı gözlenmiştir. Yapraktan uygulanan GR24'ün osmotik potansiyel ve nisbi nem içeriğini artırdığı bildirilmiştir (Sarwar ve Shahbaz, 2019). Benzer şekilde, Zulfıkar ve ark. (2020) tuz stresi altında ayçiçeğine GR24 uygulamasının, tuzun zararlı etkilerini azalttığını vurgulamışlardır. Ma ve ark. (2017), tuz stresine maruz kalan *Brassica napus* bitkilerinin GR24 uygulaması ile bitkide büyüme ve fotosentezin olumlu yönde etkilendiğini ifade etmişlerdir.

Kurak koşullar altında, dışarıdan SL uygulaması, membran lipid peroksidasyonunun azalmasına neden olmuş, buğdaydaki antioksidan enzimlerin aktivitesini, fotosentetik pigment içeriğini iyileştirmiş ve böylece buğday verimini artırmıştır (Wang ve ark., 2021). *Arabidopsis*'te, kurak ve tuzluluğa tolerans SL aracılığı ile gözlemlenmiştir (Van Ha ve ark., 2014). Benzer durum domates bitkisinde de ortaya çıkmıştır (Visentin ve ark., 2016). GR24 uygulaması buğdayda katalaz (CAT) aktivitesini artırmış, hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) birikimini azaltmış, tuzluluğa duyarlı genotipin antioksidan enzim tepkilerini değiştirerek, tuz toleransının artmasına neden olmuştur (Kürtür, 2018).

Ağır metal toksisitesini azaltmada fitohormonlar kullanılmaktadır (Piotrowska-Niczyporuk ve ark., 2012; Bucker-Neto ve ark., 2012). Strigolaktonlar çeltik köklerinde arsenat alımını, glutasyon-biyosentezini ve antioksidan savunma tepkilerini düzenleyerek arsenik stresinin azaltılmasında rol oynamaktadır (Mostofa ve ark., 2021).

Kadmiyum (Cd) stresi altında, arpa bitkilerine GR24 uygulaması, besin elementlerini dengeleyerek, reaktif oksijen türlerini dolaylı olarak ortadan kaldırmakta ve bitkileri toksik oksidasyondan korumaktadır. Bu nedenle, Cd kirliliğinin azaltılmasına katkıda bulunabileceği vurgulanmaktadır (Qiu ve ark., 2021). Cd toksisitesinde, dışarıdan GR24 uygulaması, *Panicum virgatum* bitkisinde Cd konsantrasyonunda azalmaya neden olmuş fakat Fe ve Zn seviyeleri yükselmiştir. Stres, doğrudan SL biyosentezini, bunun sinyalini ya da diğer bitki hormonları, özellikle ABA ile etkileşime etkide bulunabilmektedir. Kadmiyum toksisitesinde dışarıdan GR24 uygulaması sonucu, toksisitedeki azalma, ekzojen GR24'ün endojen SL'lerin içeriğini, demir, çinko, mangan ve bakır alımını artırması ve sürgünlerde birikiminin önlenmesinden

kaynaklanabilir. Böylelikle klorofil içeriği, fotosentez ve bitki büyümesi olumlu yönde etkilenmektedir (Tai ve ark., 2017).

Köklerdeki SL seviyeleri, kök çevresindeki besin maddeleri, özellikle azot (N) ve fosfor (P) seviyeleri tarafından belirlenmektedir. SL üretimi, N ve P'un dışında, kükürt (S) eksikliğinde de açığa çıkmakta, sürgün dallanması engellenmekte, yaprak yaşlılığı artmakta ve hızlanmaktadır. Yonca, buğday, sorgum, mısır ve çeltik bitkileri fosfor eksikliğinde yüksek oranda SL üretmektedir. Çeltik bitkisinde S, N ve P eksikliği durumunda, hücre içi SL seviyeleri artış göstermekte, yaprak yaşlanması ise hızlanmaktadır. Bu nedenle, SL'ların, P eksikliğinde etkili bir şekilde kullanılabilmesi vurgulanmaktadır. Fiğ, buğday, sorgum, mısır ve çeltik bitkilerinde azot eksikliğinde de SL seviyelerinin artış gösterdiği gözlenmiştir. Beyaz acı baklada ise, N ve P eksikliklerinde, köklerdeki SL seviyelerinin değişmediği ortaya çıkmıştır (Shindo ve ark., 2021). Bitki, yetersiz besin elementi gibi çeşitli olumsuz çevre koşulları ile karşılaştığında, strigolakton seviyesi artmaktadır. Bununla ilgili en fazla çalışılan konu fosfat eksikliği olmuştur (Brewer ve ark., 2013). Düşük fosfat koşullarında yetiştirilen, kırmızı yoncada strigolakton seviyelerinin arttığı saptanmıştır (Yoneyama ve ark., 2007). Bu şartlar altında büyüme gösteren bitkilerde, sürgün dallanması baskılanmakta, yanal kök oluşumu ve kök tüy yoğunluğu artmaktadır. Nitrat eksikliği ise bitki büyümesi üzerinde fosfata benzer bir etkiye sahip olup, sürgündeki fosfat seviyelerine etki ederek, strigolakton eksüdasyonunu değiştirebilmektedir. Fosfat eksikliğinde de, bazı *Arabidopsis* ekotiplerinde birincil kök oluşumu engellenirken, çeltik bitkisinde teşvik edilmektedir. Bu nedenle, strigolaktonlar kökteki hormonlar arasındaki karmaşık etkileşimi anlamada önemli bir bağlantı oluşturarak, çevreye, özellikle besin elementi içeriğine tepki olarak birincil ve yan köklerin farklı tepkilerini ortaya koyabilir (Brewer ve ark., 2013). Strigolaktonlar (SL) ile fosfat kullanımı arasında bir ilişki bulunmaktadır. Düşük fosfat seviyeleri SL metabolizmasını, büyümeyi düzenlemekte, çevreden fosfat alımını optimize etmek için kök ve sürgün yapısını iyileştirmektedir. Fosfor (P) eksikliği koşullarında domates köklerinde strigolakton hormonları birikmekte ve bitki fenotipinde değişikliğe neden olmaktadır. Sürekli P eksikliği koşullarında ise strigolakton uygulaması yapılmadığı takdirde, domateste kök büyümesi azalma göstermektedir (Santaro ve ark., 2020). Fosfor eksikliği gözlenen *A. thaliana* bitkilerinde strigolaktonlar, yan kök gelişimini ve kök tüy oluşumunu teşvik ederek, kök yüzey alanını artırmakta, birincil kök büyümesini engellemekte, tomurcuk gelişimini baskılamaktadır (Czarnecki ve ark., 2013). Sentetik strigolakton olan GR24 uygulaması, Cd içeriğini azaltıp, besin elementlerini dengeleyip, reaktif oksijen türlerini dolaylı olarak ortadan kaldırarak, arpayı toksik oksidasyondan korumuş ve Cd kirliliği riskinin azaltılmasına etkide bulunmuştur (Qiu ve ark., 2021). GR24'ün fosfat eksikliğinde uygulanması, yabani bitkilerin yan kök sayılarını artırırken, yüksek fosfat koşullarında, kök oluşumunu baskılayarak, yanal kök yoğunluğunun azalmasına neden olmaktadır (Ruyter-Spira ve ark., 2011). Ayrıca, *Arabidopsis* ve çeltikte düşük fosfat, strigolakton seviyesinin artmasına, tomurcuklarda büyümenin azalmasına neden olmuştur (Umehara ve ark., 2010; Kohlen ve ark., 2011).

Nodül oluşturan baklagillerde SL üretimi sadece P noksanlığında teşvik edilirken, baklagil olmayan mikotropik bitkilerde N noksanlığında da meydana gelmektedir. Bu nedenle, SL birikiminin düzenlenmesinin başlangıçta farklı bitki

türlerinin besin edinme stratejisiyle bağlantılı olduğu öne sürülmektedir (Xie ve ark., 2010).

## 2. Sonuç

Bitkide olumsuz çevre koşulları abiyotik strese neden olmaktadır. Strigolaktonlar ise, karotenoid türevli olup, bitkide abiyotik stresi düzenlediği bilinen, endojen ve ekzojen sinyal

## Kaynakça

- Al-Babili, S., Bouwmeester, H.J. (2015). Strigolactones, a novel carotenoid-derived plant hormone. *Annu Rev Plant Biol*, 66:161-186.
- Banerjee, P., Bhadra, P. (2020). Formulation of Anti-microbial and Anti-aging Oil from Natural Resources for Topical Application. *International Journal of Botany Studies*, 5(3): 279-284.
- Brewer, P.B., Dun, E.A., Ferguson, B.J., Rameau, C., Beveridge, C.A. (2009). Strigolactone acts downstream of auxin to regulate bud outgrowth in pea and arabidopsis. *Plant Physiology* 150, 482-493.
- Brewer, P.B., Koltai, H., Beveridge, C.A. (2013). Diverse roles of strigolactones in plant development. *Mol. Plant*, 6: 18-28.
- Bucker-Neto, L., Paiva, A.L.S., Machado, R. D., Arenhart, R.A., MargisPinheiro, M. (2017). Interactions between plant hormones and heavy metals responses. *Genetics and Molecular Biology*. 40: 373-386.
- Carvalho, L.C., Rincon-Florez, V.A., Brewer, P.B., Beveridge, C.A., Dennis, P.G., Schenk, P.M. (2019). The ability of plants to produce strigolactones affects rhizosphere community composition of fungi but not bacteria. *Rhizosphere*, 9: 18-26.
- Czarnecki, O., Yang, J., Weston, D.J., Tuskan, G.A., Chen, J.-G. (2013). A dual role of strigolactones in phosphate acquisition and utilization in plants. *Int. J. Mol. Sci*, 14: 7681-7701
- Demirbaş, S., Dinler, B.S., Önay, E. (2015). Soya Bitkisinde GR24 Ön Uygulamasının Tuz Stresinin Oluşturduğu Hasarı İyileştirmedeki Rolü. 1. Ulusal Bitki Sempozyumu, 1-4 Eylül 2015. Erzurum, Türkiye. 43 s.
- Druege, U., Franken, P., Hajirezai, M.R. (2016). Plant hormone homeostasis, signalling, and function during adventitious root formation in cuttings. *Frontiers in Plant Science* 7, 381.
- Ferguson, B.J., Beveridge, C.A. (2009). Roles for auxin, cytokinin, and strigolactone in regulating shoot branching. *Plant Physiology* 149, 1929-1944.
- García-Garrido, J.M., Lenzemo, V., Castellanos-Morales, V., Steinkellner, S., Vierheilig H. (2009). Strigolactones, signals for parasitic plants and arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 19(7):449-459.
- Gök Özel, Ş. (2018). Strigolakton Uygulamasıyla Tuz Stresine Karşı Kum Zambağı Bitkisinin Toleransının Arttırılmasında Antioksidan Enzimlerin İşlevi. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ. 118 s.
- Gözükırmızı, N., Karlık, E. (2019). Bitki Biyoteknolojisinde Tarihsel Gelişmeler, In: (eds. Çiftçi, Y.Ö., Uncuoğlu, A.A.) Bitki Biyoteknolojisinde Güncel Yaklaşımlar, Palme Yayınevi, Ankara.
- Kausar, F., Shahbaz, M. (2017). Influence of strigolactone (GR24) as a seed treatment on growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence of wheat under saline conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*, 19: 321

molekülü olarak çalışan, yeni ortaya çıkan bir bitki hormonudur. SL'lar, sinyal bileşikler olmasının yanı sıra, kuraklık, tuzluluk, mineral madde eksikliği gibi çeşitli stres koşulları altında, bitkilerde tolerans mekanizmasını uyarmakta, bu nedenle dışarıdan yapılan uygulamalarla birlikte bitki gelişimini olumlu yönde etkilediği bilinmektedir.

- Kohlen, W., Charnikhova, T., Liu, Q., Bours, R., Domagalska, M.A., Beguerie, S., Verstappen, F., Leyser, O., Bouwmeester, H., Ruyter-Spira, C. (2011). Strigolactones are transported through the xylem and play a key role in shoot architectural response to phosphate deficiency in nonarbuscular mycorrhizal host *Arabidopsis*. *Plant physiology*, 155(2): 974-987.
- Kopta, T., Antal, M., Jurica, M., Volkova, J., Pokluda, R. (2017). The Influence of synthetic strigolactones and plant extracts on the morphological parameters of onion (*Allium cepa*). *Advances in Horticultural Science*, 31(4):235-240.
- Kumlay, M., Eryiğit, T. (2011). Bitkilerde Büyüme ve Gelişmeyi Düzenleyici Maddeler: Bitki Hormonları. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 1(2): 47-56.
- Kürtür, O.B. (2018). Tuz stresine dayanıklı ve duyarlı buğday çeşitlerinde strigolakton uygulamasına fizyolojik ve biyokimyasal yanıtlar. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale. 45 s.
- Ling, F.L., Su, Q.W., Jiang, H., Cui, J.J., He, X.L., Wu, Z.H., Zhang, Z.A., Liu, J., Zhao, Y.J. (2020). Effects of strigolactone on photosynthetic and physiological characteristics in salt-stressed rice seedlings. *Sci. Rep*, 10:6183
- Lopez-Obando, M., Ligerot, Y., Bonhomme, S., Boyer, F., Rameau, C. (2015). Strigolactone biosynthesis and signaling in plant development. *The Company of Biologists* 142, 3615-3619.
- Ma, N., Hu, C., Wan, L., Hu, Q., Xiong, J., Zhang, C. (2017). Strigolactones improve plant growth, photosynthesis, and alleviate oxidative stress under salinity in rapeseed (*Brassica napus* L.) by regulating gene expression. *Front Plant Sci*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01671>
- Mashiguchi, K., Seto, Y., Yamaguchi, S. (2021). Strigolactone biosynthesis, transport and perception. *Plant J*, 105 (2): 335-350. <https://doi/10.1111/tpj.15059>
- Mostofa, M.G., Rahman, M.M., Nguyen, K.H., Li, W., Watanabe, Y., Tran, C.D., Zhang, M., Itouga, M., Fujita, M., Tran, L.P. (2021). Strigolactones regulate arsenate uptake, vacuolar-sequestration and antioxidant defense responses to resist arsenic toxicity in rice roots. *J Hazard Mater*, 5; 415:125589. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125589>.
- Önay, E. (2019). Strigolaktonun tuz stresine toleranslı ve duyarlı buğday çeşitlerinde askorbat-glutasyon döngüsü enzim sistemine etkisi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ, 79 s.
- Piotrowska-Niczyporuk, A., Bajguz, A., Zambrzycka, E., Godlewska-Zyłkiewicz, B. (2012). Phytohormones as regulators of heavy metal biosorption and toxicity in green alga *Chlorella vulgaris* (Chlorophyceae). *Plant Physiol, Biochem*. 52:52-65
- Qiu, C.W., Zhang, C., Wang, N.H., Mao, W., Wu, F. (2021). Strigolactone GR24 improves cadmium tolerance by regulating cadmium uptake, nitric oxide signaling and



- antioxidant metabolism in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environ Pollut.* 15;273:116486. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116486>.
- Ruyter-Spira, C., Kohlen, W., Charnikhova, T., van Zeijl, A., van Bezouwen, L., de Ruijter, N., Cardoso, C., Lopez-Raez, J.A., Matusova, R., Bours, R., Verstappen, F., Bouwmeester, H. (2011). Physiological effects of the synthetic strigolactone analog GR24 on root system architecture in *Arabidopsis*: another belowground role for strigolactones? *Plant Physiol*, 155(2):721-34.
- Saeed, W., Naseem, S., Ali, Z. (2017). Strigolactones Biosynthesis and Their Role in Abiotic Stress Resilience in Plants: A Critical Review. *Front Plant Sci*, 28 (8):1487.
- Santoro, V., Schiavon, M., Gresta, F., Ertani, A., Cardinale, F., Sturrock, C.J., Celi, L., Schubert, A. (2020). Strigolactones Control Root System Architecture and Tip Anatomy in *Solanum Lycopersicum* L. Plants under P Starvation. *Plants* (Basel, Switzerland), 9(5): 612. <https://doi.org/10.3390/plants9050612>
- Sarwar, Y., Shahbaz, M. (2019). GR24 triggered variations in morphophysiological attributes of sunflower (*Helianthus annuus*) under salinity. *Int J Agric Biol*, 21:34-40
- Shindo, M., Nagasaka, S., Kashiwada, S., Shimomura, K., Umehara, M. (2021). Shoot has important roles in strigolactone production of rice roots under sulfur deficiency. *Plant Signal Behav*, 3;16(4):1880738. <https://doi.org/10.1080/15592324.2021.1880738>.
- Smith, S.M. (2014). Q&A: What are strigolactones and why are they important to plants and soil microbes? *BMC Biol*, 12: 19. <https://doi.org/10.1186/1741-7007-12-19>
- Tai, Z., Yin, X., Fang, Z., Shi, G., Lou, L., Cai, Q. (2017). Exogenous GR24 alleviates cadmium toxicity by reducing cadmium uptake in switchgrass (*Panicum virgatum*) seedlings. *Int J Environ Res Public Health*, 14(8):852
- Takahashi, I., Asami, T. (2018). Target-based selectivity of strigolactone agonists and antagonists in plants and their potential use in agriculture. *J Exp Bot*, 69(9):2241-2254.
- Toh, S., Kamiya, Y., Kawakami, N., Nambara, E., McCourt, P., Tsuchiya, Y. (2012). Thermoinhibition uncovers a role for strigolactones in *Arabidopsis* seed germination. *Plant Cell Physiol*, 53(1):107-17.
- Ueda, H., Kusaba, M. (2015). Strigolactone Regulates Leaf Senescence in Concert with Ethylene in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 169: 138-147.
- Umehara, M. (2011). Strigolactone, a key regulator of nutrient allocation in plants. *Plant Biotechnology*, 28: 429-437.
- Umehara, M., Hanada, A., Magome, H., Takeda-Kamiya, N., Yamaguchi, S. (2010). Contribution of Strigolactones to the Inhibition of Tiller Bud Outgrowth under Phosphate Deficiency in Rice. *Plant and Cell Physiology*, 51 (7):1118-1126
- Umehara, M., Hanada, A., Yoshida, S., Akiyama, K., Arite, T., Takeda-Kamiya, N., Magome, H., Kamiya, Y., Shirasu, K., Yoneyama, K., Kyojuka, J., Yamaguchi, S. (2008). Inhibition of shoot branching by new terpenoid plant hormones. *Nature*, 455:195-200
- Van Ha, C., Leyva-González, A., Osakabed, Y., Trana, T.U., Nishiyama, R., Watanabe, Y., Tanakae, M., Sekie, M., Yamaguchi, S., Dong, V., Yamaguchi-Shiozakig, K., Shinozakid, K., Herrera-Estrellac, L. (2014). Positive Regulatory Role of Strigolactone in Plant Responses to Drought and Salt Stress. *Plant Biology*, 111 (2): 851-856.
- Verma, V., Ravindran, P., Kumar, P.P. (2016). Plant hormone mediated regulation of stress responses. *BMC Plant Biology* 16, 86.
- Visentin, I., Vitali, M., Ferrero, M., Zhang, Y., Ruyter-Spira, C., Novák, O., Cardinale, F. (2016). Low Levels of Strigolactones in Roots as A Component of The Systemic Signal of Drought Stress in Tomato. *New Phytologist*, 212(4): 954-963.
- Wang, Y., Wang, L., Yang, X., Li, X., Zang, H., Fang, B. (2021). Effects of Wheat Grain Filling and Yield Formation by Exogenous *Strigolactone* Under Drought Condition. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 15 (2): 218-223
- Waters, M.T., Gutjahr, C., Bennett, T., Nelson, D.C. (2017). Strigolactone Signaling and Evolution. *Annual Review of Plant Biology*, 68:1: 291-322
- Xie, X.N., Yoneyama, K., Yoneyama, K. (2010). The strigolactone story. *Annu Rev Phytopathol*, 48:93-117.
- Yoneyama, K., Yoneyama, K., Takeuchi, Y., Sekimoto, H. (2007). Phosphorus deficiency in red clover promotes exudation of orobanchol, the signal for mycorrhizal symbionts and germination stimulant for root parasites. *Planta*, 225: 1031-1038.
- Zulfiqar, H., Shahbaz, M., Ahsan, M., Nafees, M., Nadeem, H., Akram, M., Maqsood, A., Ahmar, S., Kamran, M., Alamri, S., Manzer, Siddiqui, M., Shah, Fahad, S. (2020). Strigolactone (GR24) Induced Salinity Tolerance in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) by Ameliorating Morpho-Physiological and Biochemical Attributes Under In Vitro Conditions. *J. Plant Growth Regul*, <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10256-4>





# Determination of Environmental Impacts of Commercial Flights During the Landing and Take-off Cycle

Mehmet Kadri Akyüz<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Dicle University, School of Civil Aviation, Department of Airframe and Power Plant Maintenance, Diyarbakır, Turkey, (ORCID 0000-0003-0229-2943), mkadri.akyuz@dicle.edu.tr

(First received 12 October 2021 and in final form 2 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008832)

**ATIF/REFERENCE:** Akyüz, M. K. & Xxxx, X. (2021). Determination of Environmental Impacts of Commercial Flights During the Landing and Take-off Cycle. *European Journal of Science and Technology*, (31), 691-698.

## Abstract

The aim of this study is to determine the hydrocarbon (HC), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) emissions caused by commercial flights and the global warming potential of these emissions. Environmental effects were calculated for the landing and take-off (LTO) cycles of aircraft and their effects on global warming potential were determined. The environmental impacts of 22 different models of aircraft in the LTO cycle and their impact on global warming potential were calculated. Fuel consumption, HC and CO emissions reached the highest value in the taxi phase. It was determined that NO<sub>x</sub> emissions reached the highest value in the climb-out phase. It is concluded that HC and CO emissions can be reduced approximately 7% by shortening the taxi time by 2 minutes. It has been calculated that the effect of the climb-out phase on the global warming potential in the LTO cycle is the highest with 40%.

**Keywords:** Aircraft emission, Global warming potential, Environment effect.

## Ticari Uçuşların İniş ve Kalkış Döngüsü Sırasında Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi

### Öz

Bu çalışmanın amacı ticari uçuşların neden olduğu hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), nitrojen oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonlarının ve bu emisyonların küresel ısınma potansiyelinin belirlenmesidir. Çevresel etkiler hava araçlarının iniş ve kalkış döngüsü için hesaplanmış ve küresel ısınma potansiyeli üzerine etkileri belirlenmiştir. 22 farklı model hava aracının LTO döngüsündeki çevresel etkileri ve küresel ısınma potansiyeline etkisi hesaplanmıştır. Yakıt tüketimi, HC ve CO emisyonlarının taksi fazında en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise tırmanma fazında en yüksek değere ulaştığı belirlenmiştir. Taksi süresinin 2 dakika kısalması ile HC ve CO emisyonlarının yaklaşık %7 azaltılabileceği sonucuna varılmıştır. LTO döngüsünde tırmanma fazının küresel ısınma potansiyeli üzerine etkisi %40 ile en yüksektir.

**Anahtar Kelimeler:** Hava aracı emisyonları, Küresel ısınma potansiyeli, Çevresel etki.

\* Corresponding Author: [mkadri.akyuz@dicle.edu.tr](mailto:mkadri.akyuz@dicle.edu.tr)

## 1. Introduction

The rapid growth of aviation activities in recent years has led to increase in aircraft operations. Aircraft releases large amounts of exhaust gases into the atmosphere due to fossil fuel consumption during their operations. Aircraft emissions seriously affect local air quality during the landing-takeoff (LTO) cycle. Emissions resulting from the combustion of fossil fuels in the propulsion systems of aircraft throughout their operations are basically; nitrogen oxide (NO<sub>2</sub>), sulfur oxide (SO<sub>x</sub>), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (HC<sub>x</sub>) [1]. Aviation activities are responsible for 2% of total CO<sub>2</sub> emissions. It is estimated that this rate will increase to 3% by 2050 [2]. Air quality and noise are important environmental problems in living areas close to the airport. It is known that exhaust gases have serious effects on human health and ecosystem. However, it has been proven that these gases contribute to serious environmental problems such as global warming [1,5].

Aircraft operations consist of two modes. The taxi-out, take-off, climb, approach, and taxi-in phases that occur below 3000 feet (914 m) are called the LTO cycle. The climb, cruise, and descent (CCD) phases occur above 3000 feet [3,4]. Emissions released to the atmosphere in the LTO cycle are defined as ground-based emissions. These emissions significantly affect the local air quality around the airport [6,7]. The calculation and reduction of emissions caused by aircraft in the LTO cycle at airports has become an important topic.

The determination and reduction of emissions from aviation in the LTO cycle have attracted the attention of many researchers. Schurmann et al. [8] carried out NO, NO<sub>2</sub>, CO and CO<sub>2</sub> measurements at Zurich airport to examine the effects of aircraft on local air quality during idling. Tokuslu [9] calculated NO<sub>x</sub>, CO, and HC emissions from aircraft operations at Tbilisi International Airport in 2018. In the calculations for the LTO cycle, NO<sub>x</sub> emissions are responsible for 27% and 37% of the total NO<sub>x</sub> emissions in take-off and climb mode, respectively. 77% and 70% of CO and HC emissions are produced in taxi mode. One of the most important results of the study is that the reduction in the 2-minute taxi time provides approximately 5% reduction in the emissions released into the atmosphere in the LTO cycle. Orhan [10] determined the pollutant emissions during the LTO cycle at airports. NO<sub>x</sub>, CO, and HC emissions were calculated in the LTO cycle and it was determined that HC and CO emissions were higher in the taxi phase. The amount of NO<sub>x</sub> released into the atmosphere is higher in the take-off and climb-out phase. Ekici and Sevinc [11] calculated CO, CO<sub>2</sub>, HC, and NO<sub>x</sub> emissions for the Turkish Airlines fleet with 2018 flight data. In addition, they also determined the total environmental impacts and environmental damage costs in their studies. Kafalı and Altuntas [12] calculated the NO<sub>x</sub>, CO, and HC emissions at Dalaman airport using flight data for the years 2016-2018. The emissions per passenger in the study were determined on monthly basis. Ekici and Şöhret [13] investigated the effect of commercial flights on air pollution during the Covid-19 pandemic in Turkey. They determined that CO, CO<sub>2</sub>, HC, and NO<sub>x</sub> emissions in the LTO cycle decreased significantly during the pandemic.

There are many studies on the reduction of fuel consumption and related pollutant emissions. Optimizing aircraft taxi times directly reduces engine operating time, thus reducing emissions. In the study conducted with 3510 flight data records at London

Heathrow airport, the effect of single engine taxiing on emissions was investigated. Fuel consumption and pollutant emissions are significantly reduced by single-engine ground motions. Taxiing with a single engine at airports should be considered by aviation authorities [14]. Analyzes using 3336 flight data showed that reducing take-off thrust reduces fuel consumption by 1% to 23.2%, NO<sub>x</sub> emissions by 10.7% to 47.7% and black carbon emissions by 49% to 71.7% [15]. The effects of alternative aviation fuels on pollutant emissions and particulate matter were experimentally investigated by NASA on a CFM56-2C1 engine of a DC-8 aircraft. Although synthetic fuels have a very small effect on engine performance, they significantly reduce emissions [16]. It has been determined with experimental tests that the use of alternative jet fuels with low aromatic content in aircraft engines significantly reduces black carbon emissions [17]. The use of kerosene and liquid hydrogen fuels in aircraft was compared in terms of greenhouse gas emissions. In the comparison made by considering NO<sub>x</sub>, HC, and CO emissions, However, there are some difficulties in the use of hydrogen as a fuel in aircraft. Liquid hydrogen requires 4 times larger fuel tanks than conventional jet fuel. The use of hydrogen as aircraft fuel is promising for sustainable aviation [18].

In this study, fuel consumption and pollutant emissions were calculated for 8845 different flights in August, the month with the highest number of flights at Izmir Adnan Menderes airport. In calculations made for 22 different aircraft, fuel consumption, NO<sub>x</sub>, CO, HC and CO<sub>2</sub> emissions were calculated for each phase of the LTO cycle. In addition, the global warming potential (GWP) caused by pollutant emissions was also calculated.

## 2. Material and Method

### 2.1. Study Area

Adnan Menderes Airport is in Turkey's Izmir province and is among the top five airports in the country in terms of flight traffic and number of passengers. Table 1 presents statistics for the top five airports in Turkey in terms of air traffic and number of passengers in 2019 and 2020. As can be seen from Table 1, it served 76,577 aircraft and 12,365,256 passengers in 2019. The main reason for the decrease in air traffic in 2020 is the restrictions due to the Covid-19 pandemic. The geographical location of Adnan Menderes airport can be seen in Figure 1.

### 2.2. Methodology

In order to calculate the environmental emissions caused by aircraft in the LTO cycle, the information given below determined respectively.

Type and model of aircrafts

Aircraft/engine configuration

Number of engines

LTO count

The duration of each phase in the LTO cycle

Fuel consumption and emission index (EI) data in the LTO cycle were obtained from the ICAO exhaust emission data bank (EEDB). The emissions caused by aircraft in the LTO cycle can be calculated by equation 1 [19]. The examined aircraft, engine types and LTO count are given in Table 4.

Table 1. Number of flights and passengers in 2019 and 2020

Airport	2019		2020	
	Commercial Flight	Passenger	Commercial Flight	Passenger
İstanbul	326,407	52,009,220	178,918	23,410,380
İstanbul Sabiha Gökçen	229,918	35,560,610	122,436	16,951,190
Ankara Esenboğa	90,101	13,740,595	39,774	5,162,569
İzmir Adnan Menderes	76,577	12,365,256	39,838	5,464,858
Antalya	197,379	35,679,421	59,456	9,711,195



Figure 1. Geographical location of İzmir Adnan Menderes Airport

$$E_{i,m} = \sum_a \sum_e n_a I_{a,e} F_{a,e,m} E_{e,m,i} t_{m,a} \quad (1)$$

Where:

$n_a$ : number of engines

$a$ : type of aircraft

$i$ : emission

$e$ : engine type

$m$ : taxi-out phase

$F$ : fuel consumption

$t$ : time in phase

$I_{a,e}$ : monthly number of LTO cycles for aircraft  $a$  equipped with engine  $e$

$F_{a,e,m}$ : fuel consumption for aircraft type  $a$  with engine type  $e$  in mode  $m$ ,

$E_{i,m}$ : monthly emissions  $i$  for phase  $m$

$t_{m,a}$ : time in mode  $m$  for aircraft type  $a$

The take-off, climb out, approach and taxi (taxi-in/out) times in the LTO cycle are as in Table 2 in ICAO standards. The phases of the LTO cycle are given in Figure 2. In this study, the duration of each phase in the LTO cycle is taken from ICAO standards. In addition, calculations were made by considering the thrust levels accepted by ICAO in each phase.

Table 2. ICAO standards for LTO phases [20]

Operation Mode	Thrust Setting (%)	Time in Mode (min)
Take-off	100	0.7
Climb-out	85	2.2
Approach	30	4
Taxi	7	26

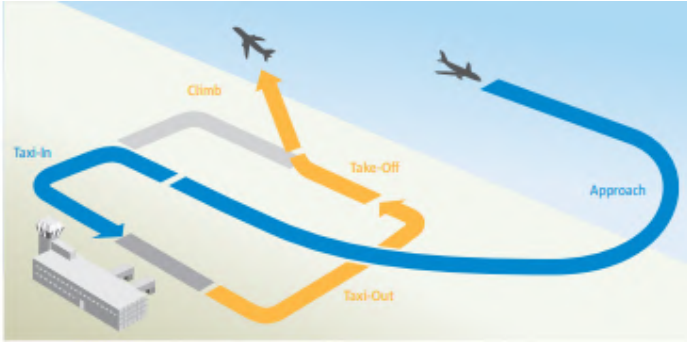


Figure 2. Landing and Take-Off (LTO) cycle [23]

The global warming potential (GWP) caused by emissions in the LTO cycle is calculated by equation 2 [21]. GWP values of pollutant emissions are given in Table 4 [5,22].

$$GWP_{total} = \sum_{i=1}^{i=n} \dot{m}_i GWP_i \quad (2)$$

Table 4. Aircrafts with engine type and LTO count

Family	Aircraft	Engine type	Engine count	LTO cycle
Airbus	A-300-600	CF6-80C2A5	2	43
Airbus	A-310	CF6-80C2A2	2	27
Airbus	A318	CFM56-5B8	2	1
Airbus	A319	IAE V2524-A5	2	126
Airbus	A320	IAE V2527-A5	2	917
Airbus	A321	IAE V2533-A5	2	223
Airbus	A330-200	CF6-80E1A3	2	3
Airbus	A330-300	Trent 772B-60	2	2
Airbus	A340-300	CFM56-5C4	4	1
Boeing	B737-300	CFM56-3B2	2	24
Boeing	B737-400	CFM56-3C-1	2	58
Boeing	B737-500	CFM56-3B1	2	2
Boeing	B737-600	CFM56-7B18	2	2
Boeing	B737-700	CFM56-7B24	2	503
Boeing	B737-800	CFM56-7B26	2	6656
Boeing	B747-400	PW 4056	4	21
Boeing	B747-8	GENx-2B67	4	1
Boeing	B757-200	PW2040	2	9
Boeing	B767-300	PW4062	2	3
EMBRAER	ERJ-135	AE-3007A3	2	7
EMBRAER	E170	CF34-8E	2	11
EMBRAER	E190	CF34-10E	2	205

### 3. Results and Discussion

In this study, the environmental effects of the LTO cycle were calculated for 8845 flights of 22 different models of aircraft. CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, and HC emissions were determined for the taxi, take-

off, climb-out and approach phases. In addition, the GWP caused by all these emissions calculated and expressed as CO<sub>2</sub>eq. Fuel consumption (FC) related HC, CO and NO<sub>x</sub> emissions were calculated for 22 different aircraft in the LTO cycle and presented in Table 5.

Table.3 CO<sub>2</sub> equivalent of exhaust emissions

Pollutant	CO <sub>2</sub> equivalent
HC	21
CO	1
CO <sub>2</sub>	1
NO <sub>x</sub>	310



Table 5. FC, HC, CO, and NO<sub>x</sub> emissions during LTO cycle

Aircraft	FC LTO (ton)	HC LTO (kg)	CO LTO (kg)	NO <sub>x</sub> LTO (kg)
A-300-600	74.91	255.04	1201.17	1062.32
A-310	40.68	174.92	775.33	525.37
A318	0.67	1.09	12.85	5.89
A319	108.09	7.72	682.35	1329.96
A320	800.77	59.08	5069.70	9871.02
A321	230.69	15.81	999.52	3855.68
A330-200	5.86	20.63	80.84	115.53
A330-300	4.34	4.19	42.38	70.64
A340-300	2.02	3.90	25.23	34.81
B737-300	20.22	16.20	287.43	202.21
B737-400	52.02	33.27	648.57	558.01
B737-500	1.57	1.67	26.07	14.38
B737-600	1.38	2.20	18.26	13.89
B737-700	414.80	434.92	4022.32	5179.56
B737-800	5864.60	4810.41	47034.40	81849.68
B747-400	68.28	24.20	301.28	1095.63
B747-8	3.49	0.84	14.67	44.32
B757-200	11.25	10.33	115.41	180.44
B767-300	5.37	21.61	87.01	87.33
ERJ-135	2.10	5.05	27.45	18.42
E170	4.97	0.46	47.73	42.67
E190	124.24	349.78	2787.56	1164.48

As seen in Table 5, the aircraft with the highest share in environmental emissions is B738. Table 6 shows the HC, CO and NO<sub>x</sub> emissions caused by the aircraft family in the LTO cycle.

Table 6. Total emissions of aircraft families.

Family	FC LTO (ton)	HC LTO (kg)	CO LTO (kg)	NO <sub>x</sub> LTO (kg)
Airbus	1268.03	542.37	8889.38	16871.23
Boeing	6442.99	5355.65	5355.65	89225.45
Embraer	131.31	355.28	355.28	1225.57

Fuel consumptions (FC) and related HC, CO, NO<sub>x</sub>, and CO<sub>2</sub> emissions for each flight phase in the LTO cycle were calculated in this study. The total fuel consumption of Airbus, Boeing and Embraer family aircraft is 1,268.03, 6,442.99 and 131.31 tons, respectively. The share of each flight phase in the total fuel consumption in the LTO cycle is given in Figure 3. Taxi, climb-out, approach and take-off phases account for 41%, 30%, 18% and 11% of total fuel consumption, respectively.

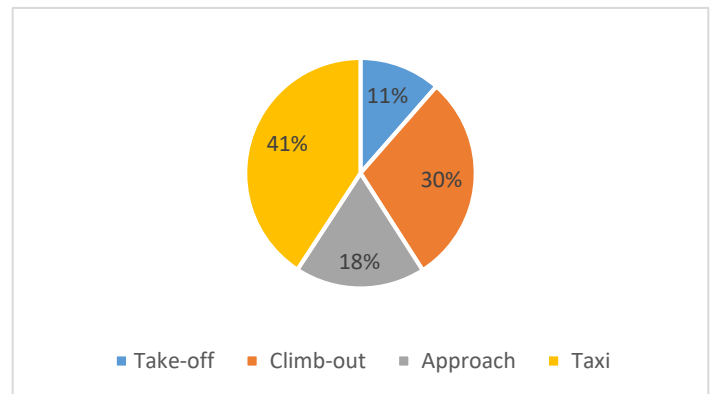


Figure 3. Fuel consumption of phases in LTO cycle

Figures 4 and 5 show the contribution of each phase to the total HC and CO emissions in the LTO cycle. Long taxi-in and taxi-out times cause high environmental emissions along with high fuel consumption. 93% and 94% of the total HC and CO emissions were released into the atmosphere during the taxi phase. The effects of other flight phases on HC and CO emissions are given in Figures 4 and 5. Total shares of take-off, climb-out and approach phases in HC and CO emissions are 7% and 6.38%, respectively.

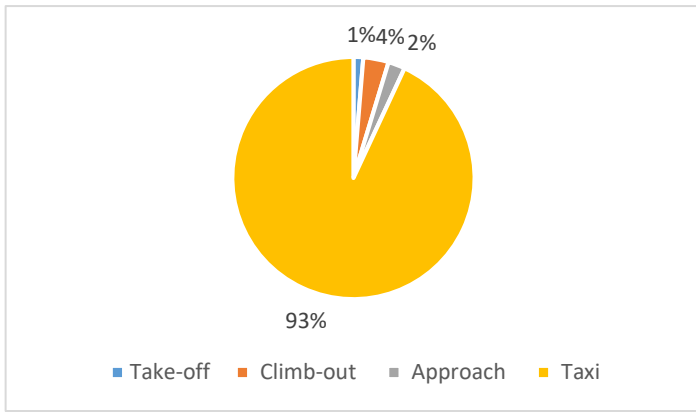


Figure 4. The distribution of HC emissions in LTO

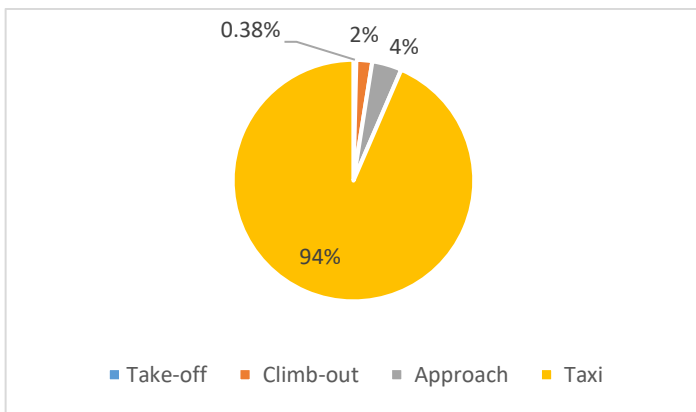


Figure 5. The distribution of CO emissions in LTO

As seen in Figure 6, the share of NO<sub>x</sub> emissions in the climb-out phase is the highest with 48%.

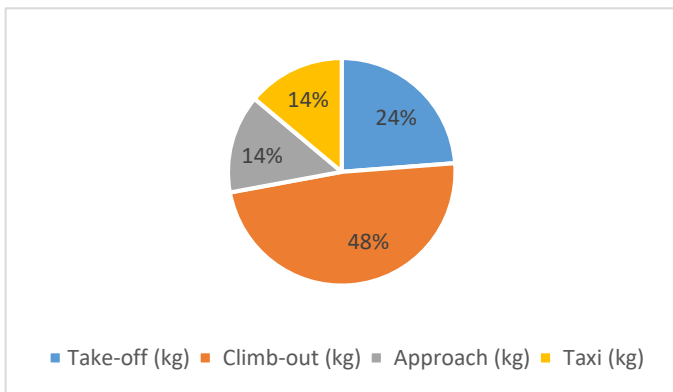


Figure 6. The distribution of NOx emissions in LTO

Table 7. CO<sub>2</sub> emission and GWP during LTO cycle

Aircraft	CO <sub>2</sub> (ton)	CO <sub>2</sub> eq (ton)
A-300-600	236.71	572.59
A-310	128.54	295.85
A318	2.13	3.99
A319	341.57	754.70
A320	2530.44	5596.77
A321	728.98	1925.58
A330-200	18.50	54.83
A330-300	13.70	35.73
A340-300	6.38	17.28
B737-300	63.89	127.21
B737-400	164.39	338.72
B737-500	4.95	9.47
B737-600	4.35	8.72
B737-700	1310.77	2929.59
B737-800	18532.14	44053.59
B747-400	215.78	556.23
B747-8	11.04	24.82
B757-200	35.56	91.83
B767-300	16.97	44.58
ERJ-135	6.65	12.49
E170	15.70	28.99
E190	392.59	763.71

The share of the take-off phase in NO<sub>x</sub> emissions is 24%, while the share of the approach and taxi phases is 14%.

Table 7 shows the amount of CO<sub>2</sub> emissions caused by each aircraft in the LTO cycle and the CO<sub>2</sub>eq, which is the measure of the GWP. The Boeing 737-800 LTO caused 18,532.14 tons of CO<sub>2</sub> emissions in LTO cycle. In addition, B737-800 caused 44,053.59 tons of CO<sub>2</sub> equivalent greenhouse gas.

In Figure 7, the contribution of the phases in the LTO cycle to the global warming potential is presented. The phase with the highest GWP is climb-out with 23,382.54 tons of CO<sub>2</sub>eq. The phase with the lowest GWP is the approach phase with 9,04.46 tons of CO<sub>2</sub>eq.

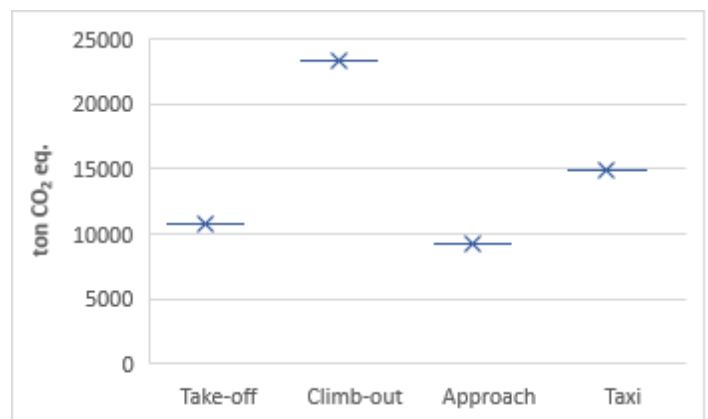


Figure 7. GWP in LTO cycle

In Figure 8, the effects of phases on GWP in LTO cycle are given. The Climb-out phase has the highest GWP of 40%. In the take off phase, this rate is 18%. Take-off and climb out times are much shorter than the other phases, but the higher GWP in these phases is due to NO<sub>x</sub> emissions released into the atmosphere at high thrust force.

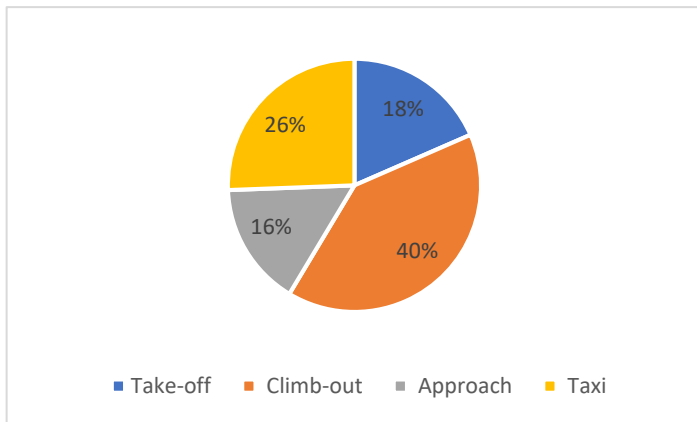


Figure 8. GWP rate in LTO cycle

Fuel consumption and emissions can be reduced by optimizing taxi times at airports. Figure 9 presents the relationship between taxi time and emissions. 2-minute reduction in taxi time contributes to a 7.13%, 7.22% and 1.04% reduction in HC, CO and NO<sub>x</sub> emissions, respectively.

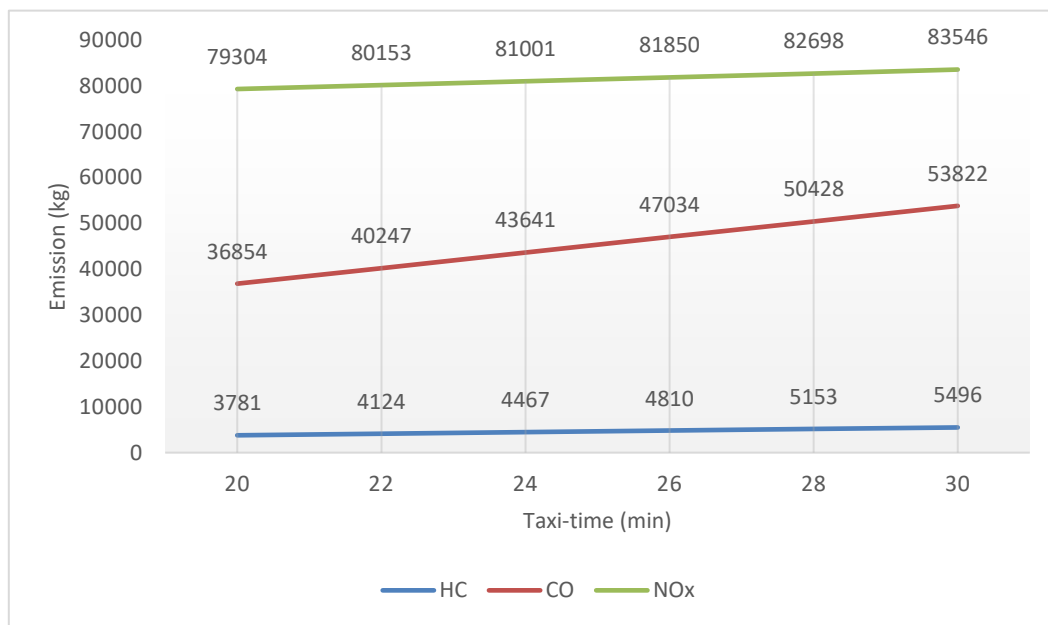


Figure 9. Effect of taxiing time on HC, CO, NOx

#### 4. Conclusion

In the presented study, fuel consumption, pollutant emissions and GWP were calculated in the LTO cycle of aircraft. These parameters were calculated separately for each aircraft and their effects were determined. Total emission amounts is calculated as 6.25 tons for HC, 64.31 tons for CO and 107.32 tons for NO<sub>x</sub>. CO<sub>2</sub> emissions due to fuel consumption is determined as 24,781.76 tons. The aircraft with the highest share in fuel consumption and environmental emissions is the B737-800.

The taxi phase is responsible for 93% and 94% of HC and CO emissions. The phase with the highest NO<sub>x</sub> emissions is the climb out phase with a share of 48%. In the analyzes carried out on the GWP, the total impact of the emissions has been calculated as 58,247.28 tons CO<sub>2</sub>eq. The biggest share in this effect belongs to the climb-out phase with 48%. The fact that the amount of NOx

emissions released into the atmosphere is quite high in the climb-out phase causes the GWP to be high in this phase.

Taxi phase has a high share in both consumption and environmental emissions. Therefore, optimizing and shortening taxi times at airports reduces environmental impacts. Reducing the taxi time by 2 minutes provides approximately 7% reduction in HC and CO emissions. In addition, taxi movements with single engine are an important action to reduce environmental emissions. It is also an important parameter for reducing noise. In this respect, it is important for aviation authorities to make regulations on the taxi movements of aircraft with single engine.

## 5. Acknowledge

The author thanks the General Directorate of State Airports Authority for valuable contributions. The author would like to thank the support of the TAV Airports Holding Corporations.

## References

- [1] Atasoy, V.E., Suzer, A.E. and Ekici, S. (2021), "Environmental impact of pollutants from commercial aircrafts at Hasan Polatkan airport", *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 93 No. 3, pp. 417-428
- [2] Norton T.M. 2014. Aircraft Greenhouse Gas Emissions during the Landing and Takeoff Cycle at Bay Area Airports. Master's dissertation, University of San Francisco, San Fransisco, 1-45.
- [3] Kurniawan, J. S., & Khardi, S. (2011). Comparison of methodologies estimating emissions of aircraft pollutants, environmental impact assessment around airports. *Environmental Impact Assessment Review*, 31(3), 240-252.
- [4] Altuntas, O. (2014). Calculation of domestic flight-caused global warming potential from aircraft emissions in Turkish airports. *International Journal of Global Warming*, 6(4), 367-379.
- [5] IPCC, 2019. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [6] Deonandan, I., & Balakrishnan, H. (2010, September). Evaluation of strategies for reducing taxi-out emissions at airports. In 10th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference (p. 9370).
- [7] Stettler, M. E. J., Koudis, G. S., Hu, S. J., Majumdar, A., & Ochieng, W. Y. (2018). The impact of single engine taxiing on aircraft fuel consumption and pollutant emissions. *The Aeronautical Journal*, 122(1258), 1967-1984.
- [8] Schürmann, G., Schäfer, K., Jahn, C., Hoffmann, H., Bauerfeind, M., Fleuti, E., & Rappenglück, B. (2007). The impact of NO<sub>x</sub>, CO and VOC emissions on the air quality of Zurich airport. *Atmospheric Environment*, 41(1), 103-118.
- [9] Tokuslu, A. (2020). Estimation of aircraft emissions at Georgian international airport. *Energy*, 206, 118219.
- [10] Orhan, I. (2021), "Passenger aircraft emissions analysis at Ordu-Giresun International Airport, Turkey in 2017", *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 93 No. 4, pp. 682-689
- [11] Ekici, S., & Sevinc, H. (2021). Understanding a commercial airline company: A case study on emissions and air quality costs. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-16.
- [12] Kafali, H. and Altuntas, O. (2020), "The analysis of emission values from commercial flights at Dalaman international airport Turkey", *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 92 No. 10, pp. 1451-1457
- [13] Ekici, S., Şöhret, Y., & Gürbüz, H. (2021). Influence of COVID-19 on air pollution caused by commercial flights in Turkey. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-13.
- [14] Stettler, M. E. J., Koudis, G. S., Hu, S. J., Majumdar, A., & Ochieng, W. Y. (2018). The impact of single engine taxiing on aircraft fuel consumption and pollutant emissions. *The Aeronautical Journal*, 122(1258), 1967-1984.
- [15] Koudis, G. S., Hu, S. J., Majumdar, A., Jones, R., & Stettler, M. E. (2017). Airport emissions reductions from reduced thrust takeoff operations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 15-28.
- [16] Bulzan, D., Anderson, B., Wey, C., Howard, R., Winstead, E., Beyersdorf, A., ... & Whitefield, P. (2010). Gaseous and particulate emissions results of the NASA alternative aviation fuel experiment (AAFEX). In *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air* (Vol. 43970, pp. 1195-1207).
- [17] Speth, R. L., Rojo, C., Malina, R., & Barrett, S. R. (2015). Black carbon emissions reductions from combustion of alternative jet fuels. *Atmospheric Environment*, 105, 37-42.
- [18] Nojourni, H., Dincer, I., & Naterer, G. F. (2009). Greenhouse gas emissions assessment of hydrogen and kerosene-fueled aircraft propulsion. *International journal of hydrogen energy*, 34(3), 1363-1369.
- [19] Stefanou, P., & Haralambopoulos, D. (1998). Energy demand and environmental pressures due to the operation of Olympic Airways in Greece. *Energy*, 23(2), 125-136.
- [20] ICAO (2026) <https://www.icao.int/environmental-protection/documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf> (accessed 3 October 2021)
- [21] Şöhret, Y. (2019). Multi-objective evaluation of aviation-induced GHG emissions: UK domestic flight pattern. *Energy & Environment*, 30(6), 1049-1064.
- [22] Ekici, S., & Şöhret, Y. (2020). Isparta Süleyman Demirel Havalimanında Ticari Uçuşlar Kaynaklı Egzoz Emisyonlarının Çevresel Etkileri ve Maliyet Değerlendirmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 597-604.
- [23] European Commission (2016). <https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/european-aviation-environmental-report-2016-72dpi.pdf> (accessed 5 October 2021)





# Investigation of Wing, Fuselage and Tail Design Parameters in Boeing and Airbus Aircraft

Seyhun Durmuş\*

\*Balıkesir University, Edremit School of Civil Aviation, Balıkesir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1409-7355), [drmsyhn@gmail.com](mailto:drmsyhn@gmail.com)

(First received 2 November 2021 and in final form 25 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1017730)

**ATIF/REFERENCE:** Durmuş, S., (2021). Investigation of Wing, Fuselage and Tail Design Parameters in Boeing and Airbus Aircraft. *European Journal of Science and Technology*, (31), 699-705.

## Abstract

The study aims to examine the wing, fuselage and tail design parameters of Airbus and Boeing aircraft and to reveal the design criteria for the sizing of large commercial jets. In the study, the design and sizing data of 11 Airbus models and 14 Boeing models were compiled. The number of abreast seats, maximum seats, fuselage length, fuselage width, fineness ratio, tail section length, cockpit length and cargo compartment length are the main parameters studied about the fuselage design. Wing area, wingspan, aspect ratio, mean aerodynamic chord (MAC), taper ratio, dihedral angle, quarter chord sweep angle, and winglet lengths are the main parameters studied about the wing design. The area, span, aspect ratio, taper ratio, and quarter chord sweep angle of vertical and horizontal tail are the main parameters studied about the tail design. As a result of the study, exceptional designs and average design criteria for Airbus and Boeing aircraft have been revealed with the help of charts presented. In addition, the obtained linear correlations reveal that the MAC has about 0.14 times the wingspan and about 1.168 times the average chord length.

**Keywords:** Aircraft design, Wing design, Tail design, Boeing, Airbus.

## Boeing ve Airbus Uçaklarında Kanat, Gövde ve Kuyruk Tasarım Parametrelerinin İncelenmesi

### Öz

Çalışma, Airbus ve Boeing uçaklarının kanat gövde ve kuyruk tasarım parametrelerini incelemeyi ve bu tip büyük ticari yolcu uçakların tasarımına yönelik tasarım kriterlerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışmada 11 Airbus modeli ve 14 Boeing modeli için tasarım ve boyutlandırma verileri derlenmiştir. Yan yana koltuk sayısı, maksimum koltuk sayısı, gövde uzunluğu, gövde genişliği, incelik oranı, kuyruk bölümü uzunluğu, kokpit uzunluğu ve kargo bölümünün uzunluğu gövde tasarımı hakkında incelenen parametrelerdir. Kanat alanı, kanat açıklığı, ortalama giriş uzunluğu, ortalama aerodinamik girişler MAC, en-boy oranı, koniklik oranı, çeyrek veter süpürme açısı, dihedral açısı ve winglet uzunlukları kanat tasarımı hakkında çalışılan temel parametrelerdir. Dikey ve yatay kuyruk alanı, açıklık, en-boy oranı, koniklik oranı ve çeyrek veter süpürme açısı, kuyruk tasarımı hakkında çalışılan temel unsurlardır. Çalışma sonucunda sunulan grafikler yardımıyla Airbus ve Boeing uçakları için istisnai tasarımlar ve ortalama tasarım kriterleri ortaya konmuştur. Ek olarak, doğrusal korelasyonlar, MAC'nin kanat açıklığının yaklaşık 0.14 katı ve ortalama giriş uzunluğunun yaklaşık 1.168 katı olduğunu ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Uçak tasarımı, Kanat tasarımı, Kuyruk tasarımı, Boeing, Airbus.

\*Sorumlu Yazar: [drmsyhn@gmail.com](mailto:drmsyhn@gmail.com)

## 1. Introduction

Since the 1990s, the competition between Airbus and Boeing has led to the formation of a duopoly in the large commercial aircraft market. Airbus has strengthened as a pan-European consortium, while Boeing has strengthened by adding McDonnell Douglas to its structure. Fokker and BAE Systems were forced to withdraw from the market because they could not compete with Airbus and Boeing [1]. Boeing became the world's top aircraft manufacturer in 2006 with 1,044 orders against Airbus's 824 orders [2]. Due to the sales momentum that achieved by Airbus thanks to the A320neo family, and the problems experienced by Boeing with the Boeing 737 MAX, the A320 family eventually surpassed the Boeing 737 to become the best-selling aircraft in 2017 [3]. Statistics conducted in 2019 showed that a total of 11394 Boeing aircraft and a total of 10137 Airbus aircraft were in service [4]. Conceptual aircraft design consists of important stages such as weight estimation, initial sizing, and engine selection [5]. In present study, fuselage, wing and tail sizing and design criteria were examined without touching on weight and thrust issues. Parameters such as the number of abreast seats, maximum seats, fuselage length, fuselage width, finesse ratio, length of tail section, length of cockpit and length of cargo compartment were examined in fuselage design and sizing. Parameters such as the wing area, wingspan, mean aerodynamic chord (MAC), aspect ratio, taper ratio, quarter chord sweep angle, dihedral angle, and length of the winglets were examined in the wing design and sizing. Parameters such as the area, span, aspect ratio, taper ratio, and quarter chord sweep angle of vertical and horizontal tail were examined in the empennage design and sizing. Raymer [5] proposed an approach based on the power correlation between aircraft mass and fuselage length for estimating fuselage lengths using the maximum takeoff gross mass. The fuselage size determined by the volume required for the maximum number of passengers and the maximum amount of cargo, and both can be selected in various combinations to give the maximum payload capacity [6]. In his study of commercial passenger aircraft, Morichon [7] found that the lengths of cargo compartment are 0.45 times the lengths of the fuselage. Roskam [8] calculated the fuselage nose, the length of the cockpit, the cabin at the back and the tail boom as a function of the fuselage diameter. Kruger et al. [9] claims that the low fineness of the fuselage design, reduces the drag on aircraft configuration, which will save between 5% and 16% on fuel consumption. The volume required for the cabin can be calculated from the recommended average density values for cargo and baggage from the Torenbeek [10] database. Schmitt and Golnick [11] argued that increasing the fuselage diameter of aircraft beyond 8 or 9-abreast will increase the exterior circular body surface. The mean aerodynamic chord (MAC) is a parameter that is referenced in aerodynamics and stability calculations in preliminary airplane design. Yates [12] made the first calculations of the average aerodynamic chord, which is still used today. Nicolai and Carichner [13] have noted that the wing is located on the fuselage in such a way that its center of gravity is about 30% of the wing's MAC. Vogeltanz [14] has developed a method and software that accurately calculates the MAC even on elliptical wings. Sforza [15] has proposed a direct calculation method that can predict the lift to drag ratio with the help of MAC. Although Redeker and Wichmann [16] suggest that the forward sweep angle causes a more stable laminar boundary layer, the critical Mach number is increased by sweep, regardless of whether this is with the help of a forward sweep or a rear sweep [17]. Although

increasing the wing aspect ratio allows for higher lift-to-drag ratios, commercial jets often have wings with relatively low aspect ratios due to higher deflections, which can cause flutter problems in the wings [18]. Nicolosi et al. [19] conducted a study on the relationship of aircraft directional stability and vertical tail sizing. Yass [20] claimed that increasing the aspect ratio of the horizontal tail enhances both the damping ability and rolling static stability and reduces the damping ability in the spiral mode. Obert [21] has argued that a high aspect ratio in the tail design has a negative (albeit relatively small) effect on tail weight, and a high taper ratio can cause premature tip stall. There are various studies in the literature about alternative concept designs in commercial passenger aircraft. Taking Airbus 320 and Boeing 737 family aircraft as a reference, Prandtlplane provides higher aerodynamic efficiency by improving the payload capacity by 50% [22]. Elmendorp et al. [23] conducted a comparative study of key performance indicator of the canard, three surface, and Prandtl aircraft with respect to conventional designs. The D8 double-bubble aircraft with a complex, non-round fuselage shape is an airliner aircraft that demonstrates the potential to reduce fuel consumption by 25-30% compared to the Boeing 737-800 [24]. The efficiency of the N+3, a hybrid wing fuselage design, achieves 45% lower fuel burn than the Boeing 737-800 due to the improved propulsion system and the supposed structural improvements [25]. In the current study, it is aimed to determine the wing, fuselage and tail design parameters of Boeing and Airbus and to find both average design characteristics and to identify the models with exceptional designs by examining the models in comparative charts.

## 2. Material and Method

In this study, design and sizing data such as the number of abreast seats, maximum seats, fuselage length, fuselage width, finesse ratio, length of tail section, length of cockpit and length of cargo compartment, wing area, wingspan, aspect ratio, mean aerodynamic chords, taper ratio, dihedral angle, quarter chord sweep angle, and length of the winglet, vertical and horizontal tail area, tail span, tail aspect ratio, tail taper ratio, and quarter chord tail sweep angle of 11 Airbus models and 14 Boeing models were compiled. Aircraft sizing and design data are obtained from manufacturers' web pages and from the book of Jane's all the world's aircraft [26-28].

Below are a few important parameters in aircraft design and the equations for how they are calculated. Fineness ratio is the ratio of the length of fuselage to the aircraft width, as shown in Eq. 1.

$$\text{Fineness ratio} = \frac{\text{Fuselage length}}{\text{Width}} \quad (1)$$

The aspect ratio is the ratio of the wingspan to the average chord length, as shown in Eq. 2.

$$\text{Aspect ratio} = \frac{\text{Wingspan}}{\text{Average Chord Length}} = \frac{b}{\bar{c}} \quad (2)$$

The taper ratio is the ratio of the tip chord length to the root chord length, as shown in Eq. 3.

$$\text{Taper ratio } (\lambda) = \frac{\text{Tip Chord}}{\text{Root Chord}} = \frac{C_t}{C_r} \quad (3)$$

Mean aerodynamic chord (MAC) is an important parameter since the position of center of gravity of an aircraft is measured relative to the MAC. MAC can be calculated using the root chord and taper ratio, as shown in Eq. 4 [9].

$$\text{MAC} = \frac{2}{3} C_r \frac{1+\lambda+\lambda^2}{1+\lambda} \quad (4)$$

The studied models of Boeing and Airbus are presented in Table 1, where they are included in the first flight years.

Table 1. Boeing and Airbus models examined with the first flight years.

Boeing Aircraft			Airbus Aircraft		
	Type- Model	Year		Type- Model	Year
1	B707-320C	1962	1	A300-600R	1974
2	B737-200	1967	2	A310-300	1983
3	B737-400	1967	3	A320-200	1988
4	B737-500	1967	4	A321-100	1993
5	B727-200Adv	1970	5	A340-200	1993
6	B757-200	1982	6	A330-300	1994
7	B767-200	1982	7	A319-100	1995
8	B767-300	1982	8	A330-200	1998
9	B747-400	1988	9	A340-500	2002
10	B777-200ER	1995	10	A340-600	2002
11	B737-700	1997	11	A380-800	2004
12	B737-800	1998			
13	B717-200	1999			
14	B757-300	1999			

### 3. Results and Discussion

In the study, the results of the analysis related to the design and sizing of the fuselage, then the wing and finally, the tail are shown in the charts. From the point of view of the abreast seats, the 6, 7, 9 and 10 arrangements will be seen. 6- and 9-abreast are slightly more than others. Fig. 1 shows the distribution of abreast seats and total seats on Boeing and Airbus aircraft. The 7 seat abreast is seen as a Boeing 767. Airbus and Boeing's double-decker aircraft (Boeing 747, A380), also called Super Jumbo have 10 abreast seats. Also, Boeing 777-200 model has 10 abreast seats. Although there is no direct relationship between the number of abreast seats and the total number of seats, it can be said in general that as the number of abreast seats increases the total number of seats increases.

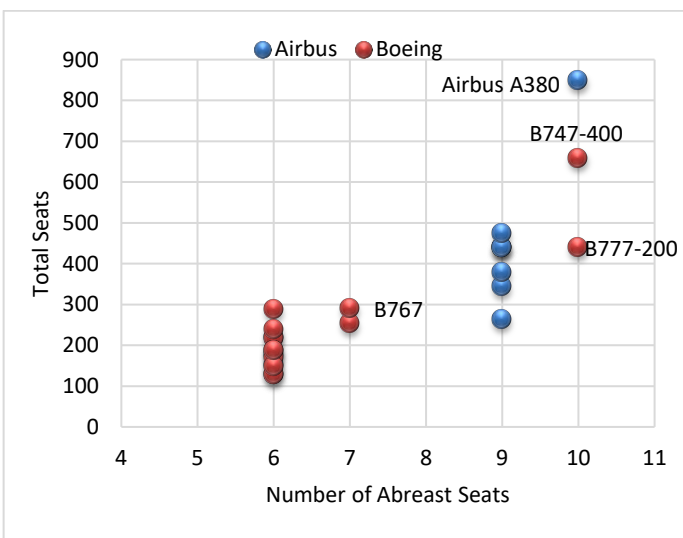


Figure 1. The distribution of abreast seats and total seats in Boeing and Airbus aircraft

Boeing's double-decker aircraft-Boeing 747 400 model and the Boeing 737-200 model have the smallest cockpit length.

However, the double-decker aircraft of Airbus-A380-800 has the longest cockpit length (4.66 m). Fig. 2 shows the distribution of cockpit length and tail length on Boeing and Airbus aircraft. The cockpit lengths range from 3.6 m to 4.2 m. In terms of tail lengths, Airbus A340-600, and double-decker jumbo jets (Boeing 747, A380) have the longest tail sections.

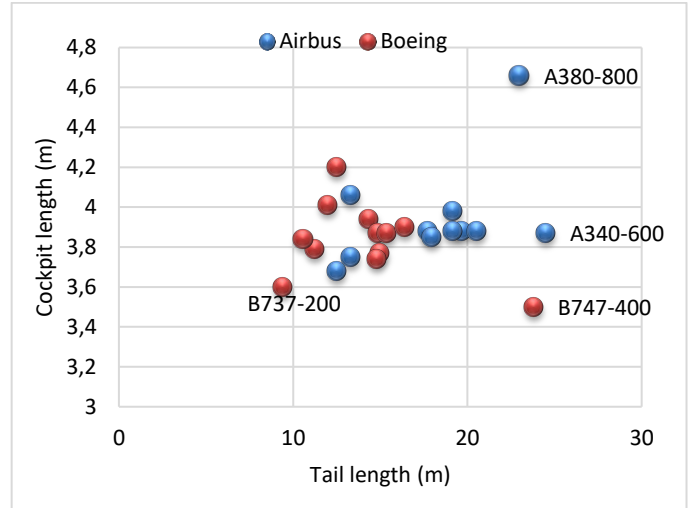


Figure 2. Distribution of cockpit length and tail length in Boeing and Airbus aircraft

Just like tail lengths, the fuselage length of the A340-600 and double-decker jumbo jets (Boeing 747, A380) is the largest. Fig. 3 shows the distribution of fineness ratio and fuselage length in Boeing and Airbus aircraft. Fineness ratio is a factor that affects the total drag of the aircraft. While the fineness ratio of the aircraft varies between 6 and 14, and it is mainly clustered between the 8-12. The lowest fineness ratio in Boeing belongs to B737-200 model and in Airbus aircraft it belongs to the A319-100 model. The highest fineness ratio in all belongs to the B737-300 model.

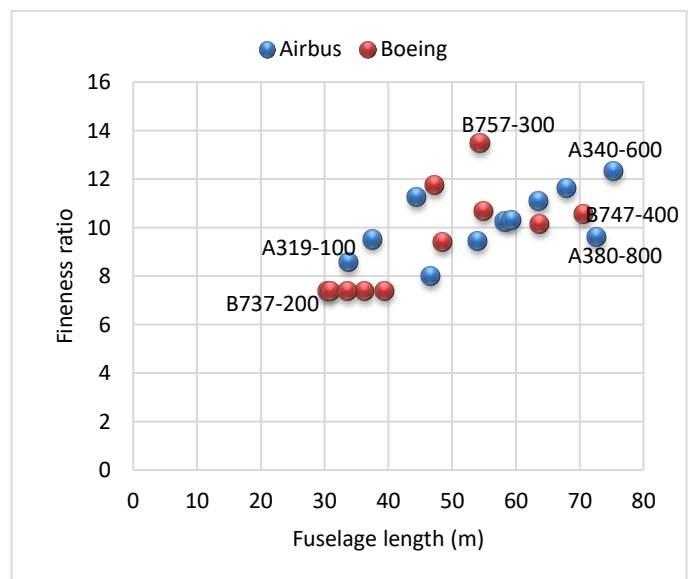


Figure 3. Distribution of the fineness ratio and fuselage length in Boeing and Airbus aircraft

Fig. 4 shows the ratio of the length of cargo compartment to the total length of Boeing and Airbus aircraft. It can be said that the length of the cargo compartment varies between 35% and 55% of the total length of aircraft. Narrow-body aircraft (A310-300, B737-500) have a shorter cargo compartment length, while wide-body Airbus A340-600, Boeing 767-300 and A380-900 models have a relatively longer cargo compartment.

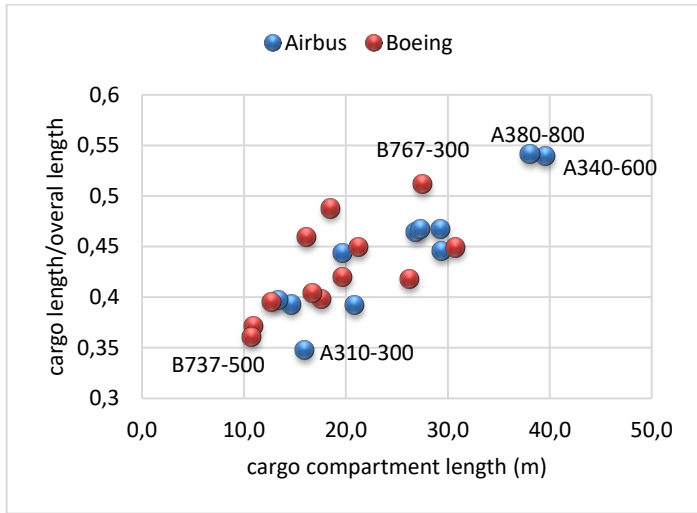


Figure 4. Ratio of length of cargo compartment to the total length of the Boeing and Airbus aircraft

In Fig. 5, the correlation between the average chord length and mean aerodynamics chord (MAC) in Boeing and Airbus aircraft is given by the trendline equation, where R<sup>2</sup> value of 0.99. As shown in Eq. 5, mean aerodynamics chord (MAC) corresponds to 1.168 of the average chord lengths ( $\bar{c}$ ) of a commercial jet.

$$MAC \cong 1.168 \bar{c} \quad (5)$$

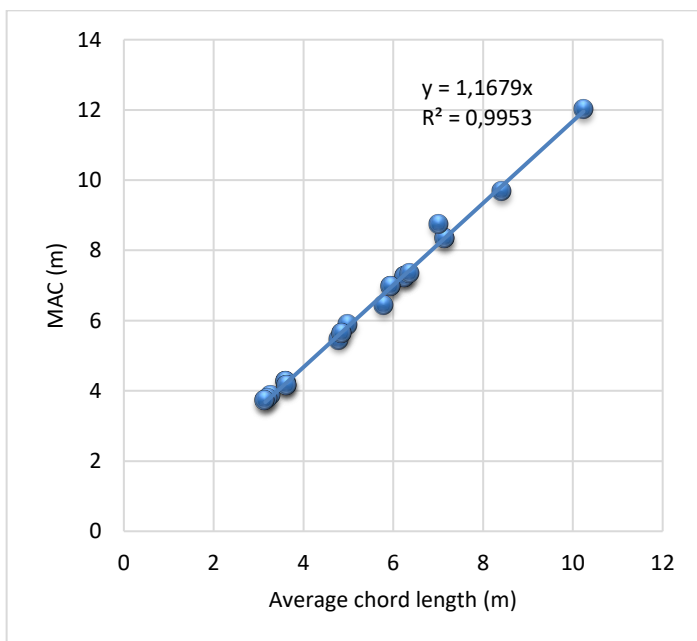


Figure 5. Relationship between average chord length and MAC in Boeing and Airbus aircraft

In Fig. 6, the correlation between mean aerodynamics chord (MAC) and wingspan on Boeing and Airbus aircraft is given by the trendline equation, where R<sup>2</sup> value is about 0.92. As a percentage, the average aerodynamic chord on airplanes corresponds to about 14% of wingspan (b), as given in Eq. 6.

$$MAC \cong 0.14 b \quad (6)$$

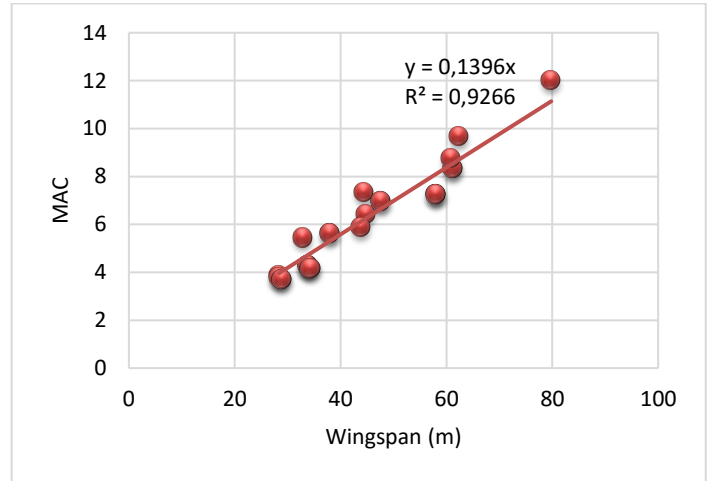


Figure 6. Relationship between wingspan and MAC in Boeing and Airbus aircraft

Fig.7 shows the distribution of quarter chord sweep angle and dihedral angle in Boeing and Airbus aircraft. The dihedral angle is a design factor in lateral stability, which increases the stability of the aircraft. In general, the dihedral angle is between 5°-7° in commercial jets. The wing sweep angle is a design factor that delays the turbulence at high speeds, that is, it increases the critical Mach number. Looking at Fig. 7, the first thing that stands out is that Boeing uses higher dihedral angles in its wings than Airbus. In addition, Boeing uses sweep angles ranging from 25° to 37.5° on its wings, while Airbus uses a narrow scale, ranging from 25° to 31.1° sweep angle.

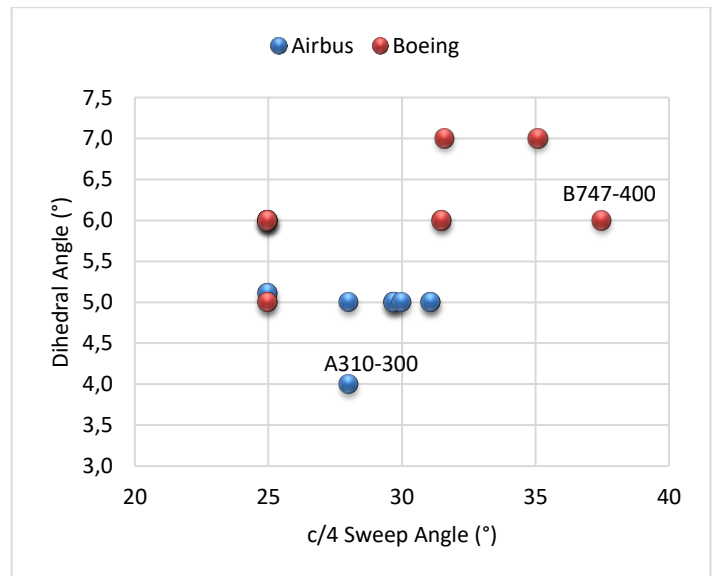


Figure 7. Distribution of the quarter-chord sweep angle and dihedral angle in Boeing and Airbus aircraft





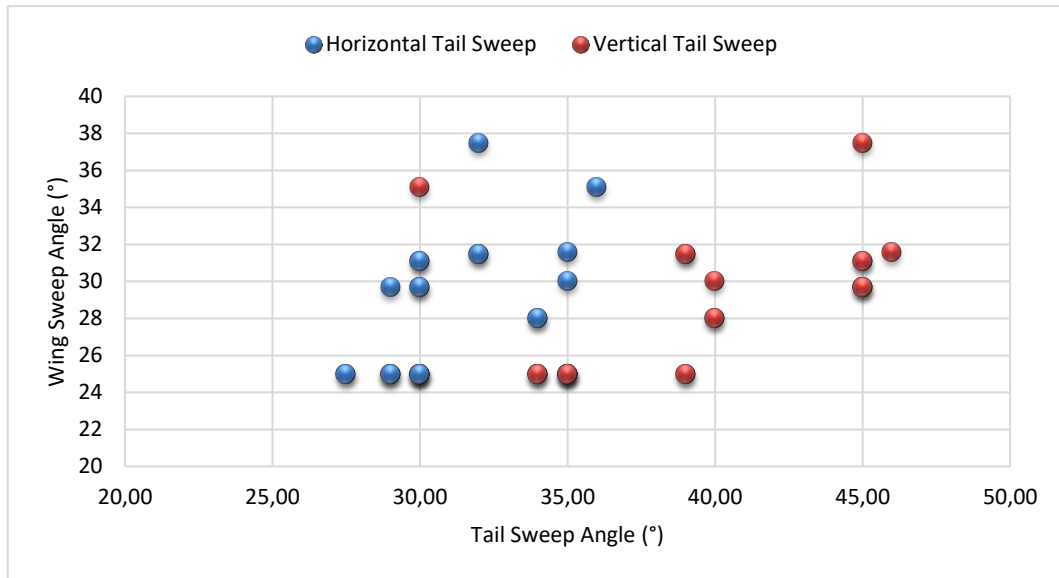


Figure 11. Distribution of wing's quarter-chord sweep angle and horizontal tail-vertical tail's quarter-chord sweep angle in Boeing and Airbus aircraft

#### 4. Conclusions and Recommendations

In present study, the fuselage, wing, and tail design parameters of 11 Airbus models and 14 Boeing models were compiled. As a result, exceptional designs and average design criteria were revealed with the help of presented charts. The fineness ratio of aircraft is from 6-14, and it has accumulated mainly from 8-12. It can be said that the length of the cargo compartment varies between 35% and 55% of the total length of aircraft. The average cargo compartment length is about 45% of fuselage length. In general, the dihedral angle is between the 5°-7° and Boeing uses higher dihedral angles than Airbus. In addition, Boeing uses wide sweep angles ranging from 25° to 37.5° on the main wings, while Airbus uses a narrow scale sweep angle ranging from 25° to 31.1°. Winglet lengths are usually between 3% and 5% of the wingspan. Exceptionally, high winglet length is used on Boeing's 737-800 model. The aspect ratio of the wings varies between 7 and 10, the aspect ratio of the vertical tail accumulated between 1.5 and 2, and aspect ratio of the horizontal tail mostly accumulated between 4.50 and 5.20. The taper ratio on the aircraft wings is mostly between 0.2-0.3 and it is mostly between 0.2 and 0.4 in the tail. The taper ratio of vertical tail has a wider range comparing to the horizontal tail. Similarly, the vertical tail has a sweep angle on a larger scale, ranging from 30 to 46, while the horizontal tail has a narrower scale, ranging from 27.5 to 36. As a result of linear correlations with high coefficient of determination-R<sup>2</sup>, it was found that the MAC has about 0.14 times the wingspan and it has about 1.168 times the average chord length.

#### References

[1] Newhouse, J. (2007). Boeing versus Airbus. Vintage.  
 [2] Petrescu, R. V., Aversa, R., Akash, B., Corchado, J., Berto, F., Apicella, A., & Petrescu, F. I. (2017). When boeing is dreaming—a review. *Journal of Aircraft and Spacecraft Technology*, 1(3).  
 [3] Flottau, J. (2018). Airbus and Boeing ponder higher narrowbody production: after strong 2017, both manufacturers see upward pressure on rates; suppliers warn of potential bottlenecks. *Aviation Week & Space Technology*.

[4] Flight Global (2019) World Airline Census 2019,” Flight International.  
 [5] Raymer, D. (2018). Aircraft design: a conceptual approach. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc  
 [6] Fielding, J. P. (2017). *Introduction to aircraft design* (Vol. 11). Cambridge University Press.  
 [7] Morichon, L. (2006). Selected statistics in aircraft design. *Department of Automotive and Aeronautical Engineering, Hamburg University of Applied Sciences*.  
 [8] Roskam, J. (1989). Airplane design part III: layout design of cockpit, fuselage, wing and empennage: cutaways and inboard profiles. *Roskam j., airplane design: part IV, layout design of landing gear and system*.  
 [9] Kruger, M., Huyssen, R. J., Smith, L., & Meyer, J. P. (2016). Application of a low fineness ratio fuselage to an airliner configuration. In *54th AIAA Aerospace Sciences Meeting* (p. 1282).  
 [10] Torenbeek, E. (2013). Advanced aircraft design: conceptual design, analysis and optimization of subsonic civil airplanes. John Wiley & Sons.  
 [11] Schmitt, D., & Gollnick, V. (2016). The Air Transport System. In *Air Transport System* (pp. 1-17). Springer, Vienna.  
 [12] Yates, A. H. (1952). Notes on the Mean Aerodynamic Chord and the Mean Aerodynamic Centre of a Wing. *The Aeronautical Journal*, 56(498), 461-474.  
 [13] Nicolai, L. M., & Carichner, G. E. (2010). Fundamentals of aircraft and airship design, Volume 1—Aircraft Design. American Institute of Aeronautics and Astronautics.  
 [14] Vogeltanz, T. (2016, June). Application for calculation of mean aerodynamic chord of arbitrary wing planform. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1738, No. 1, p. 120018). AIP Publishing LLC.  
 [15] Sforza, P. M. (2020). Direct Calculation of Zero-Lift Drag Coefficients and (L/D)<sub>max</sub> in Subsonic Cruise. *Journal of Aircraft*, 57(6).  
 [16] Redeker, G., & Wichmann, G. (1991). Forward sweep-A favorable concept for a laminar flow wing. *Journal of aircraft*, 28(2), 97-103.  
 [17] Kundu, A. K. (2010). Aircraft design (Vol. 27). Cambridge University Press.

- [18] Suleman, A., Afonso, F., Vale, J., Oliveira, É., & Lau, F. (2016). Non-linear aeroelastic analysis in the time domain of high-aspect-ratio wings: Effect of chord and taper-ratio variation. *The Aeronautical Journal*, 121(1235).
- [19] Nicolosi, F., Ciliberti, D., Della Vecchia, P., Corcione, S., & Cusati, V. (2017). A comprehensive review of vertical tail design. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*.
- [20] Yass, M. A. (2007). Effect of Airplane Tail Aspect Ratio on Lateral-Directional Stability. *Engineering and Technology Journal*, 25(6).
- [21] Obert, E. (2009). *Aerodynamic design of transport aircraft*. IOS press.
- [22] Frediani, A., Cipolla, V., Salem, K. A., Binante, V., & Scardaoni, M. P. (2019). Conceptual design of PrandtlPlane civil transport aircraft. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 095441001982643.
- [23] Elmendorp, R. J. M., Vos, R., & La Rocca, G. (2014). A conceptual design and analysis method for conventional and unconventional airplanes. In *ICAS 2014: Proceedings of the 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences*, St. Petersburg, Russia, 7-12 September 2014. International Council of Aeronautical Sciences.
- [24] Yutko, B. M., Titchener, N., Courtin, C., Lieu, M., Wirsing, L., Tylko, J., ... Church, C. S. (2017). Conceptual Design of a D8 Commercial Aircraft. *17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*.
- [25] Mody, P., Sato, S., Hall, D., De la Rosa Blanco, E., Hileman, J., & Wen, E. (2010, July). Conceptual design of an N+ 3 hybrid wing body subsonic transport. In *28th AIAA Applied Aerodynamics Conference* (p. 4812).
- [26] Paul, J. (2005). *Jane's all the world's aircraft. 2004-2005*. Jane's Information Group Inc, Alexandria.
- [27] Boeing (2021). Technical Specs. Access date: 20.09.2021 <https://www.boeing.com/commercial/>
- [28] Airbus, S. A. S. (2021). *Airbus Family Figures*. Airbus.



# Bitki Paraziti Nematodlarla Mücadelede Biyoteknolojik Yaklaşımlar\*

Zeliha Şahin<sup>1</sup>, Hayriye Didem Sağlam Altıncı<sup>2†</sup>

<sup>1</sup> Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Biotechnology, Kırşehir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9063-4474),

[zlh.shn91@gmail.com](mailto:zlh.shn91@gmail.com)

<sup>2\*</sup> Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Kırşehir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8925-1305),

[didemsaclam@ahievran.edu.tr](mailto:didemsaclam@ahievran.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 19 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 18 Aralık 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.939277)

**ATIF/REFERENCE:** Sahin, Z. & Sağlam Altıncı, H.D. (2021). Biotechnological Approaches to Control of Plant Parasitic Nematodes. *European Journal of Science and Technology*, (31), 706-712.

## Öz

Dünya nüfusunun her geçen gün artması, tarımsal üretimden istenen yüksek verim beklentisini de artırmaktadır. Bu beklentinin karşılanması esnasında biyotik ve abiyotik faktörlere bağlı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Biyotik faktörler içerisinde bulunan bitki paraziti nematodlar yıllık ortalama 125 milyon dolarlık ürün kaybı ile önemli bir yere sahiptir. Bitki paraziti nematodlarla mücadelede yaklaşık 8 milyon dolarlık pazara sahip kimyasal mücadele ilk sırada yer almaktadır. Kimyasal ilaçların çevreye, insanlara ve hedef alınmayan organizmalara olan olumsuz etkileri dolayısıyla yeni alternatif mücadele yöntemleri geliştirilmelidir. Son yıllarda biyoteknolojik yöntemler kullanılarak bitki paraziti nematodların kontrolü çalışmaları hızla artış göstermektedir. Bu metotlar nematodlara karşı doğal dayanıklılıklar, bitki RNA'sının susturulması, proteinaz inhibitörlerinin kullanımı, lektinler aracılığı ile sağlanan dayanıklılık ve *Bacillus thuringiensis* (Bt) Cry proteinleri aracılığı ile sağlanan dayanıklılıklar şeklinde sıralanabilir. Bitki paraziti nematodları kontrol etmek için kullanılan bu yeni biyoteknolojik yöntemler kısa sürede yüksek verim ve kaliteli ürünler üretmek için kullanılabilir. Bu çalışmada bitki paraziti nematodlarla mücadelede biyoteknolojik yaklaşımlar derlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bitki Paraziti Nematodlar, Mücadele Yöntemleri, Biyoteknoloji

## Biotechnological Approaches to Control of Plant Parasitic Nematodes

### Abstract

The World population is increasing rapidly therefore, it is increasing the expectation of high efficiency demanded from this agricultural production. During the supply of expectations problem arise belonging to biotic and abiotic factors. Plant parasitic nematodes, one of the biotic factors, cause yield losses around 125 million dollars annually. Control of plant parasitic nematodes is mostly done by chemical pesticides and have place in market approximately 8 million dollars. Chemical pesticides affect human, environment and non-target organisms negatively therefore new alternative control methods need to improve. Biotechnological control methods for plant parasitic nematodes have increased rapidly in recent years. These methods are natural resistance, RNA interference, proteinase inhibitor, lectin base control and *Bacillus thuringiensis* (Bt) based control. This new approaches of biotechnological methods for controlling plant parasitic nematodes can use for producing high yield and quality products in short period. In this study, biological approaches to control of plant parasitic nematodes have been reviewed.

**Keywords:** Plant Parasitic Nematodes, Control Methods, Biotechnology

\* Bu çalışma Zeliha ŞAHİN'in Yüksek Lisans seminerinden üretilmiştir. Makale 16-18 Kasım 2017 tarihlerinde Osmaniye'de düzenlenen "1. Uluslararası İleri Araştırmalar ve Mühendislik Kongresi'nde" poster olarak sunulmuş ve kongre kitabında özeti basılmıştır.

† Corresponding Author: [didemsaclam@ahievran.edu.tr](mailto:didemsaclam@ahievran.edu.tr)



## 1. Giriş

Tarımsal üretim insan beslenmesinde önemli bir kaynaktır. Sağlıklı bir insan günlük olarak kullandığı enerjinin %37-43'ünü tarımsal besinlerden karşılamaktadır (Pekcan ve ark., 2006). Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla tarımsal üretim her geçen yıl hızlı bir ivme ile artmış, bu artışta verim ve kalite önemli bir kriter haline gelmiştir. Bu hızlı ve seri üretim esnasında birçok biyotik ve abiyotik faktörlere bağlı üretim sorunları ile karşılaşmaktadır. Bunlar içerisinde bitki paraziti nematodlar dünya genelinde %12.6 oranında ürün kayıplarına sebep olması ile önemli bir yere sahiptir (Lopes-Caitarve ark., 2019). Nematodlar, her türlü iklime uyum sağlamış; bitkiler, insanlar ve hayvanlarda parazit olarak bulunan, toprak ortamında serbest yaşayan saprofit formları ile geniş yayılış alanına sahip bir canlı grubudur (Freckman ve Baldwin, 1990; Boag ve Yeates, 1998). Bitki paraziti nematodlardan şu ana kadar 4305 türü tespit edilmiş olup bunların tarımsal üretime verdiği zararın yaklaşık 80 milyon dolar olduğu tahmin edilmektedir (Nicol ve ark., 2011; Maggenti, 1991). Nematodlar renksiz, saydam görünümlü ve gözle görülmesi oldukça zor olan mikroskobik canlılardır. Bitki paraziti nematodların ergin öncesi dönemlerine "larva" denir ve yaşamları boyunca 4 gömlek değiştirerek ergin hale geçerler. Yaşamlarını sürdürmek için uygun konukçunun bulunmadığı durum da bazı türler ölürken bazı türlerin ise yumurtaları dormansi durumunda toprakta yıllarca canlılığını koruyabilir (Agrios, 2005). Gerekli konukçuyu bulup ergin hale geçen bireyler uygun ortam ve koşullar sağlanırsa bütün yıl devamlı çoğalabilirler. Geniş bir yayılış alanına sahip olan nematodlar son yıllara kadar en az bilinen organizma grupları arasında yer almışlardır. İlk çalışmalar 19. yüzyılda kültür bitkilerinde oluşturdukları zararlarla fark edilmiştir (Thorne, 1961). Nematodlar bitki üzerinde kök, gövde, yumru ve yapraklardan beslenerek zarar oluşturmaktadır. Bu beslenme esnasında salgıladıkları toksik salgılar bitkilerde urlanmalar, yaralar, solma, sararma, bodurlaşma, renk değişiklikleri, kıvrılma, yumru ve köklerde saçaklanma, yumuşama ve çürümeler meydana getirir (Kepenekci, 2012). Ayrıca nematodların beslenmek için açtıkları yaralardan bakteri ve funguslar rahatlıkla giriş yapabilmekte böylelikle bitki üzerinde direk zararlarının yanı sıra indirek zararlara da sebep olmaktadır (Perry ve Moens, 2006; Kepenekci, 2012). Bu zararların yanı sıra bir diğer zararları ise bitki virüslerinin taşınmasında oynadıkları roldür (Harris, 1981). Hohn (2007), fungus, böcek ve nematod gibi vektörlerle bitki virüslerini ortalama %80'sinin taşıdığını belirtmiştir.

Tarım alanlarında bu denli ürün kayıplarına neden olan bitki paraziti nematodların zararını en aza indirmek amacı ile değişik mücadele yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın olanı kimyasal mücadeledir ve yıllık 1.3 milyar dolarlık bir paya sahiptir (Oka, 2020). Ancak her ne kadar kimyasal mücadelenin özellikle uygulama kolaylığı ve ucuz olması üreticileri cezbetse de bitki paraziti nematodlar üzerinde kesin ve uzun vadeli sonuçlar ortaya koyamamaktadır. Bir diğer mücadele yöntemi ise biyolojik mücadeledir. Bitki paraziti nematodların biyolojik mücadelesinde kullanılan veya kullanılmaya potansiyeli olan çok sayıda doğal düşman vardır. Predatör funguslar (*Arthrobotrys dactyloides*), endoparazit funguslar (*Purpureocillium lilacinum* (Syn. *Paecilomyces lilacinus*), *Pochonia chlamyosporia*, *Beauveria bassiana*), bakteriler (*Pasteuria penetrans*) ile collembola, tardigrade, akarlar ve entomopatojen nematodlar gibi predatörleri

bulunmaktadır (Kepenekci, 2012). Bu yöntem son yıllarda devlet teşviki ile de yaygınlaştırılmaya çalışılsa da yüksek maliyetli olması ve bazı durumlarda doğal düşmanların sık sık salım yapılması gerekliliği gerçeği bu yöntemi dezavantajlı hale getirmektedir. Kültürel önlemlerle yapılan mücadelede ise toprak işlemenin yapılması ile bitki kök sisteminin daha kuvvetlenmesi sağlanır. Tohum temizliğine dikkat edilerek bitki paraziti nematodlarla bulaşık olmayan tohum ve yumruların ekim dikimlerinin sağlanması, sulama suyunun salma sulama şeklinde değil damlama sulama sistemlerinin kurularak verilmesi ile bitki paraziti nematodların bir yerden başka bir yere geçişinin engellenmesi sağlanabilmektedir. Bunun yanında dayanıklı çeşit kullanımı ile de bitki paraziti nematodların mücadelesi yapılabilmektedir.

Bitkilerin, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılık geni taşıdıkları bu yüzyılın başından beri bilinmektedir. Bu genlerin kullanımı ile çiftçilerin yoğun kimyasal ilaç tüketimleri sınırlanmıştır (Keen, 1999). Son yıllarda üzerinde yoğun olarak çalışılan ve önemli gelişmeler kaydedilen biyoteknolojik çalışmalar bitki paraziti nematodlarla mücadele de yeni bir ufuk açmış ve olumlu sonuçlar ortaya koymuştur. Ancak biyoteknolojik çalışmalar konusundaki bilgilerin yanlış ve eksik bilinmesine bağlı olarak insanlar ön yargılı yaklaşmaktadırlar. Biyoteknolojik çalışmalar ile zamanın önemli olduğu gelecek kuşaklar için kısa zamanda kaliteli ve yüksek verimli ürün elde etme olanağı sağlanmaktadır. Bitki paraziti nematodlarla ilgili ilk biyoteknolojik çalışmalar kök ur nematodları üzerinde başlamış daha sonra kök lezyon nematodları ve diğer nematod türleri ile devam etmektedir.

## 2. Bitki Paraziti Nematodlarla Mücadelede Biyoteknolojik Yaklaşımlar

Tarımsal üretimde hedeflenen yüksek verim ve kaliteli ürün, hastalık ve zararlılardan arı üretim son yıllarda tarımsal biyoteknoloji alanının gelişmesini sağlamıştır. Bitki biyoteknolojisi ile ilgili ilk çalışmalar 1980'li yıllarda *Agrobacterium*'un neden olduğu kök boğazı hastalığının moleküler mekanizmasının bulunması ile başlamıştır. Daha sonra bitki biyoteknolojisinin temeltası olan *Agrobacterium* bakterisinin bitkilere istenilen özellikleri aktarımında kullanılması ile bitki biyoteknolojisi alanındaki çalışmalar hız kazanmıştır (Özcan, 2001). Bu gelişmelerden sonra tarımsal özellikleri kodlayan genlerin değişik teknikler kullanılarak çok sayıda bitki türüne aktarımı yapılmıştır. Entomoloji alanındaki ilk çalışmalar böceklerde dayanıklılık üzerine yapılırken son yıllardaki çalışmalar bitki paraziti nematodlar üzerinde yoğunlaşmıştır.

Bitki paraziti nematodlarla mücadelede biyoteknolojik çalışmalar 4 başlık altında incelenebilmektedir:

2.1.Bitki RNA'sının Susuturulması ile Bitki Paraziti Nematodların Baskılanması

2.2.Transgenik Proteinaz İnhibitör (PI) Tabanlı Bitki Paraziti Nematodların Kontrolü

2.3.Lektinler Aracılığı ile Sağlanan Nematod Direnci

2.4.*Bacillus thuringiensis* (Bt)'nin Cry Proteinleri Aracılığı ile Sağlanan Nematod Direnci

## 2.1. Bitki RNA'sının Susturulması ile Bitki Paraziti Nematodların Baskılması

RNA interferans, “gen susturulması” olarak bilinen bu yöntem spesifik genlerin işlevini engellemede kullanılan bir tekniktir (Dağeri ve ark., 2012). Geliştirilen bu metod sayesinde son yıllarda bitki koruma alanında önemli gelişmeler sağlanmıştır.

Bitki paraziti nematodlarda gen susturmak için RNA etkileşimi (RNAi) uygulamaları yapılmış ve bir nematodun genini hedefleyen çift sarmallı RNA (dsRNA)'yı bulunduran bitkilerde direncin sağlandığı saptanmıştır (Gheysen ve Vanholme, 2007; Lilley ve ark., 2007). dsRNA tarafından kontrol edilen gen susturucu ilk olarak *Caenorhabditis elegans* (Maupas) üzerinde Fire ve ark. (1998) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmanın etkisi 2006 yılında Nobel Fizyoloji ve Tıp Ödülü'nü Andrew Fire ve Craig Mello'ya kazandırarak kabul edilmiştir. Benzer bir çalışma bitkiler için transkripsiyon sonrası gen susturulması olarak tarif edilmiştir (Jorgensen ve ark., 1996; Waterhouse ve ark., 1998). Bitki paraziti nematod genlerinin fonksiyonel analizi ilk olarak 2002 yılında yapılmış, daha sonra Lilley ve ark., (2007) ve Fleming ve ark., (2007) tarafından yapılan çalışmalar ile çeşitli doku ve hücrelerde bir dizi gen topluluğunun hem kist hem de kök-ur nematodlarına karşı bitkide gen susturma işlemleri ile başarı sağlanmıştır. Yadav ve ark., 2006 yılında *Meloidogyne* türleri üzerinde yaptıkları çalışmada tütün bitkisinde bu nematod türünün gelişimini engelleyici kromotitlerin RNA sarmalına eklenmesi ile *M. incognita*'ya karşı %90'dan fazla direnç sağlamışlardır. Başka bir çalışmada ise in vitro koşullarında 16D10 geninin dsRNA'da *M. incognita* 2. dönem larvalarına verilmesi ile *Arabidopsis* (*Pilosella siliquosa*) köklerinde bulunan nematod yoğunluğunun %82 oranında baskılandığı ortaya konulmuştur. *Arabidopsis* 'in *Meloidogyne* türleri ile enfekte edilmesi ile larva sayısında azalma ve toplam üremede %63-90 oranında bir düşüş gözlenmiştir. Bu çalışma ile *M. incognita*, *M. hapla*, *M. arenaria* ve *M. javanica*'ya karşı geniş açıda dayanıklılık gösterdiği belirlenmiştir (Huang ve ark., 2006b) (Tablo 1). Bu çalışmalar ışığında Fairbairn ve ark., (2007) MjTis11'in tütün üzerinde DNA ve RNA' daki bir bölge olan “hairpin” yapılarındaki bölgenin susturulması sonucu *M. javanica*'nın hem direncini hem üremesini etkilediğini ortaya koymuşlardır. Steeves ve ark., 2006 yılında yapmış oldukları çalışmada transgenik soya fasulyelerinde zarar yapan *H. glycines* in MSP (Majör Sperm Proteini) geni hairpin yapısı bitkiye aktararak kök dokularında nematod üremesini %75 oranında azalttığı sonucuna varmışlardır. Valentine ve ark., 2007 biraz farklı bir yaklaşım ile *Arabidopsis* üzerinde RNA'yı susturmak için *H. schachtii*'de glyceraldehide-3-phosphatedehydrogenase (GAPDH) geni kullanılmışlar ve 14 gün sonra dişi nematodların yoğunluğunda %10-15 azalma olduğunu belirtmişlerdir. Bu yaklaşım dayanıklı bitki üretimi için yeterli olmamasına rağmen potansiyel hedef genlerin hızlı test edilmesinde önemli bir gelişme olduğu belirtilmiştir (Fuller ve ark., 2008). Huang ve ark., (2006a) transgenik bitkilerde hem tam uzunlukta 16D10 dsRNA hem de işlenmiş siRNAs'ların varlığını belirtirlerken, Steeves ve ark., (2006), *H. glycines* MSP sekansına karşılık gelen siRNAs'ları tespit etmişler fakat dsRNA'yı tespit etmekte başarısız olmuşlardır. Kist nematodlarının genlerini susturmak için yapılan birçok çalışmaya rağmen (Steeves ve ark., 2006; Valentine ve ark., 2007) başarı oranı düşük bulunmuştur (Gheysen ve Vanholme, 2007). Bu durumun nedenini Fuller ve

ark., (2008) nematod türleri arasında bile değişen beslenme şekli ve beslenme bölgesinin bitki hücresinden alabileceği molekülün maksimum boyutundaki farklılıkların oluşması olduğunu belirtmişlerdir. Şu anda nematod genlerinin susturulması görevini dsRNA mı yoksa siRNAs'mı üstleniyor bu konu ile ilgili hala net bir sonuç bulunmamaktadır (Fuller ve ark.,2008).

## 2.2. Transgenik Proteinaz İnhibitör (PI) Tabanlı Bitki Paraziti Nematodların Kontrolü

Proteinaz inhibitörleri (PI), birçok bitkide doğal olarak bulunan ve protein yapısı ile bitkinin doğal savunmasında yer alan moleküllerdir (Ryan, 1990). Proteinaz inhibitörlerini içeren yaklaşık 20 kadar protein familyası bulunmakta ve bu değişik familyalara ait proteinler 40 ile 180 arası amino asit içeren polipeptidlerden oluşup oldukça kararlı yapılara sahiptirler (Baker ve ark., 1997). Proteinaz inhibitörlerinin böceklerle dayanıklı transgenik bitki geliştirilmesinde kullanımına yönelik ilk çalışma 1987 yılında yapılmıştır (Hilder ve ark., 1987). Bu çalışmada bürülceden izole edilen PI'nin tütüne aktarılması ile elde edilen transgenik bitkilerin *Heliothis virescens* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae)'e karşı dayanıklılık gösterdiği saptanmıştır. PI taşıyan transgenik bitkilerin gelişiminde önemli yere sahip diğer bir çalışma ise patates ve domates proteinaz inhibitörü-II'nin tütüne aktarımı ile geliştirilen bu transgenik bitkilerin *H. virescens* larvalarının gelişimini engellemesi ve büyümesini baskılamasıdır (Vishnudasen ve ark., 2005). Böceklerle dayanıklılıkta aktif olarak kullanılan bu inhibitör türünün 1990'lı yılların başında nematodlara dayanıklılık çalışmalarında da kullanılabileceğine dair görüşler ortaya çıkmaya başlamıştır (Urwin ve ark., 1997; Vai ve ark., 1998). PI'lerin nematodlara dayanıklılık potansiyeli ilk olarak “serine bürülce trypsin inhibitörü (CpTI)” kullanılarak araştırılmıştır. Hopher ve Atkinson (1992) yaptıkları çalışma ile CpTI'nin *G. pallida*'nın cinsel yapısını bozup daha az baskın erkek bireylerin oluşumunu sağladığı ve ortamda nematod popülasyonunun azalması ile zararın daha az seviyede olduğu ortaya konulmuştur. Diğer bir çalışma ise CpTI'nin *M. incognita*'nın üremesini azalttığı ancak *G. pallida*'nın üremesi üzerine bir etkisi olmadığını belirtmiştir (Hopher ve Atkinson, 1992; Urwin ve ark., 1998). Cai ve ark. (2003) PI'nin *H. schachtii*'nin büyüme ve gelişmesini engellediğini tespit etmişlerdir. *H. avenae* ile ilgili yapılan bir çalışma ise transgenik buğdaydan elde edilen PI'nin tahıl kist nematodunun gelişimini ve büyümesini baskıladığını belirtmiştir (Vishnudasen ve ark., 2005).

Ekonomik açıdan ciddi zararlara sebep olan *H. schachtii* ve *M. incognita*'ya karşı kullanılan cystatin (Oc-I) inhibitörü dişi bireyler üzerinde yumurta, üreme ve gelişme aktivitelerini kısıtladığı belirlenmiştir (Urwin ve ark., 1997). Dişi nematodların sayısında %35 azalma ve üremede %69 bir gerileme tespit edilmişken, %81 oranında nematodların baskılanabildiği belirtilmiştir (Urwin ve ark., 2000). OcIΔD86 cystatin ile ise *M. incognita* 'nın üremesi %55 oranında azaldığı bulunmuştur (Vai ve ark., 1998). Cystatin-expressing ile üretilen patates bitkilerinin doğal parazitoidlere (Cowgill ve ark., 2002a, 2004), toprak faunasına (Cowgill ve Atkinson, 2003), hedef alınmayan böcek veya doğadaki serbest canlılara (Cowgill ve ark., 2002b) zarar vermediği farklı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Bu çalışmalar ile PI'nin bitki paraziti nematodları baskılamada etkili olduğu ortaya konulmuştur.

Tablo 1. Bitki paraziti nematodlara dayanıklılıkta susturulan bitki genleri (Fosu-Nyarko ve Jones, 2015)

Nematod	Susturulmuş Gen	Bitki	Etkinlik Seviyesi	Kaynak
<i>M. incognita</i>	SNF kromatin yeniden modellenmesi	Tütün	%90'dan fazla nematod azalmış	Yadav ve ark., (2006)
	Pre-mRNA birleştirme faktörü (prp-21)	Tütün	%90'dan fazla nematod azalmış	
	Mitochondrial stress- 70 protein	Soya fasulyesi	%92 gal oluşumu engellenmiş	İbrahim ve ark., (2011)
	Tyrosinephosphatase	Soya fasulyesi	%95 gal oluşumu engellenmiş	
<i>M. javanica</i>	Nematodefektör protein (NULG1a)	<i>Arabidopsis</i>	%88'den fazla nematod azaltılmış	Lin ve ark., (2013)
	Salgılanan Peptit (16D10)	<i>Arabidopsis</i>	%90-93 yumurta oluşumunun azaldığı, %63'ten fazla gal oluşumunun azaldığı	Huang ve ark., (2006a)
<i>M. halpa</i>	Salgılanan Peptit (16D10)	<i>Arabidopsis</i>	%69-73 yumurta oluşumunun azaldığı	Huang ve ark., (2006b)
<i>M. chitwoodi</i>	Salgılanan Peptit (16D10)	<i>Arabidopsis</i>	%57 yumurta paketinin azaldığı, %67 yumurta oluşumunun azaldığı	Dinh ve ark., (2014)
	Salgılanan Peptit (16D10)	Patates	%71 yumurta paketinin azaldığı, %63 yumurta oluşumunun azaldığı	
<i>H. glycines</i>	Rİbozomal protein 3a (rps-3a)	Soya fasulyesi	%87 dişi gelişiminin azaldığı	Klink ve ark., (2009)
	Spliceosomal SR protein ( <i>spk-1</i> )	Soya fasulyesi	%88 dişi gelişiminin azaldığı	
	Synaptobrevin ( <i>snb-1</i> )	Soya fasulyesi	%93 dişi gelişiminin azaldığı	
<i>H. schachtii</i>	SKP1-like protein (8H07)	<i>Arabidopsis</i>	%50'den fazla dişi gelişiminin azaldığı	Sindhu ve ark., (2009)
	Nematodun salgıladığı peptid (Hs4F01)	<i>Arabidopsis</i>	%55 dişi gelişiminin azaldığı	Patel ve ark., (2008)
	30C02 effector protein	<i>Arabidopsis</i>	%92'den fazla dişi gelişiminin azaldığı	Hamamouch ve ark., (2012)

### 2.3. Lektinler Aracılığı ile Sağlanan Nematod Direnci

Lektinler çoğu bitkide bulunan, glikoprotein, glikolipid ve polisakkaridlere bağlanma özelliği gösteren protein gruplarıdır (Öktem, 2001). Bitki lektinleri heterojen ve biyokimyasal açıdan karmaşık protein gruplarını içerir. Lektinlerin ana rolünün patojeni tanıma, stresi algılama ve savunma mekanizmasını oluşturmak olduğuna inanılmaktadır. Pek çok bitki lektinleri bitkide az rastlanan veya bulunmayan kitin gibi glikanları bağladığı için savunma rolünü üstlenmektedir (Peumans ve Van Damme, 1995). Depolama organlarında bitki lektinlerinin birikimi de pasif bir savunma mekanizması rolünü işaret eder. Lektin genleri, bitki paraziti nematodlarda dahil birçok patojene tepki vermek için bitkiyi uyarılmaktadır (Oka ve ark., 1997; Jammes ve ark., 2005; Fuller ve ark., 2007). Lektin genleri nematodlar üzerinde bulunan glikoproteinlere bağlananlar dışındakilerle veya bağırsaklarda bulunan glikoproteinlerle etkileşime girerek etki gösterebilirler (Fuller ve ark., 2008). Bu alandaki ilk çalışma Marban-Mendoza ve ark., (1987) tarafından yapılmış ve Concanavalin A uygulanması ile domates bitkisi köklerinde *M. incognita* popülasyonunu %75 oranında düşürdüğünü ortaya koymuşlardır. Lektinler, dışardan gelen sinyallerin ve uyarıların bitki paraziti nematodlar tarafından algılanmasından sonra bitki köklerindeki uygun genin ekspresyonu ile gen ürünleri hücrel veya kök salınımı için

yönlendirilirler böylece önemli ölçüde direnç meydana gelmiş olur.

Bitki paraziti nematodlara karşı Kardelen lektini (Snowdrop Lectin [GNA])'nin dayanıklılık potansiyeli tek başına ve CpTI ile transgenik kolza'da *P. neglectus* ve *H. schachtii*'ye karşı test edilmiştir. GNA ve CpTI'nin birlikte aktarıldığı çeşitte yaklaşık %25 *H. schachtii* ve %75 *P. neglectus*'un baskılandığı belirlenmiştir (Burrows ve De Waele, 1997). Transgenik patates bitkisine aktarılan farklı dozlarda (%0.1-0.5) GNA'in Patates kist nematodu (*G.pallida*)'na karşı farklı dayanıklılık mekanizması gösterdiği belirlenmiş. %0.25 konsantrasyonda GNA eklenen transgenik patates bitkisinde *G.pallida* popülasyonu %50 oranında düşerken, %0.5 konsantrasyonunda GNA eklenen bitkide *G.pallida* popülasyonunun azalması tespit edilmemiştir. Bu iki deneme sonucuna göre GNA 'nın bitki paraziti nematodlara dayanıklı transgenik bitki üretiminde kullanılma potansiyelinin olduğu ancak dayanıklılığın tam olarak bilinmeyen kritik seviyedeki GNA'a bağlı olduğu belirtilmiştir. En etkili GNA konsantrasyonu farklı nematod türüne karşı farklı duyarlılık gösterebilmektedir. Çok fazla veya çok az GNA önemsiz bir etkiye sahip olabilir, hatta nematod popülasyonunu bile artırabilmektedir (Burrows ve De Waele, 1997). Bu konuda daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.



## 2.4. *Bacillus thuringiensis* (Bt)'nin Cry Proteinleri Aracılığı ile Sağlanan Nematod Direnci

*Bacillus thuringiensis* genellikle toprakta yaşayan gram pozitif bir bakteridir (Öktem, 2001). Uzun yıllardır böceklerde hastalık meydana getirdiği bilinmektedir. Biyolojik mücadele ajanı olarak kullanımında insan ve hayvan sağlığına zararsız olması, doğaya toksik olmaması, depolanabilmesi, bitki koruma alet ve ekipmanları ile kolay kullanımı avantajları arasındadır (Thurau ve ark., 2010, Toros ve ark., 1991). *B.thuringiensis* kristal halinde toksine sahiptir. Bu toksin böcek midesinde etkili olan  $\delta$ -endotoksine dönüşerek dağılır ve ölüme sebep olur. *B.thuringiensis*'de  $\delta$ -endotoksin proteinin sentezinden sorumlu olan genler Cry genleridir. Cry genleri farklı gruplar altında toplanmaktadır. Cry-1A, Cry-1B, Cry-1C, Cry-1H Cry-2A toksinleri Lepidoptera takımında, Cry-3A ve Cry-6A toksinleri Coleoptera takımında ve Cry-10A ve Cry-11A toksinleri ise Diptera takımında etkili olduğu bilinmektedir.

Bunlara ilave olarak Cry-3A Cry-6A, Cry- 5B, Cry-12A ve Cry-13A nematodlara karşı etkili olduğu belirtilmiştir (Thurau ve ark., 2010). Bt proteininin böcekler üzerinde yapılmış birçok başarılı çalışmadan çok sonra nematisid etkisi olduğu ortaya çıkmıştır. Bt toksininin ilk nematisid olarak potansiyeli 2000 yılında Marroquin ve ark. (2000) tarafından belirlenmiştir. *C. elegans* üzerinde yapılan bu çalışmada Cry5B ve Cry6A genlerini denemişler ve Cry5B'nin nematodun üremesini azaltıp, ölüm oranını arttırdığını tespit etmişlerdir. Nematosidal etkinin böceklerdekine benzer bir şekilde bağırsağa zarar veren mekanizmadan kaynaklandığı belirlenmiştir (Thurau ve ark., 2010). Böylelikle Bt proteinlerinin bitki paraziti nematodlar arası ilişkinin ölümcül ve toksik etkileri ortaya konulmuştur (Wei ve ark., 2003; Li ve ark., 2007). Cry6A geni, domates köklerindeki *M.incognita* ile mücadelede kullanılmış ve nematodun yumurta kümelerinde %60 ve yumurta oluşumunda da %36 oranında azalmaya sebep olduğu tespit edilmiştir (Li ve ark., 2007, Atkinson ve ark., 2009). Bitki paraziti nematodların beslenme tüpleri moleküler bir süzgeç gibi görev yapmaktadır. Gerekli molekülleri alırken diğerlerini bırakır. *Meloidogyne* türlerinin, kist nematodlarına göre daha büyük partiküllü molekülleri yutabildiği düşünülmektedir (Li ve ark., 2007). *H.schachtii*'nin yaklaşık 23 kDa'nun üzerindeki molekülleri yutamadığı Urwin ve ark., (1998) tarafından belirlenmiştir. Molekül büyüklük sınırlaması durumu geniş çaplı bitki paraziti nematodların kontrolünde Bt geni taşıyan transgenik bitkilerin geliştirilmesinde sınırlamalara neden olmaktadır (Fuller ve ark., 2008).

## 3. Sonuç

Günümüzde dünya nüfusu 7 milyarken, bu rakamın 2050 yılında yaklaşık 10 milyar olacağı tahmin edilmektedir. Bu artışa paralel bitkisel üretiminde artması gerekmektedir. Ancak her geçen gün tarım alanlarının amaç dışı kullanımı, klasik ıslah yöntemleri kullanılarak verim artışının belli bir noktaya gelmesi ile birim alandan alınacak ürün kısıtlanmaktadır. Ayrıca yoğun kimyasal gübre uygulamaları ve pestisit kullanımı toprak, su ve besin kirliliğine sebep olmakta bu da insan ve çevre sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Daha sağlıklı ve sürdürülebilir bir tarımsal üretim için alternatif mücadele metotları geliştirilmeye çalışılmaktadır. Tarımsal üretimi arttırmada özellikle hastalık, zararlı ve yabancı otlara karşı biyoteknolojik metotlar üzerine çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Toprak

kökenli bir zararlı olması dolayısıyla bitki paraziti nematodlarla mücadele oldukça zordur. Kimyasal mücadeleye alternatif yöntemlerden dayanıklı çeşit kullanımı, üzerinde en fazla çalışılan konular arasındadır. Dayanıklı çeşit kullanımı ile bitki paraziti nematodların üremesi baskılanıp, ekim nöbeti süresi kısaltılabilmekte dolayısıyla bu zararlılarla mücadelede başarılı ve ekonomik bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Domatese Mi geni aktararak *Meloidogyne* türlerine karşı, patatese H1 dayanıklılık geni aktararak *G. rostochiensis*'e karşı başarılı sonuçlar alınmıştır (Bakker ve ark.,2004). Bunların yanında 11 Cre gen serisi Avustralya da tanımlanmış (özellikle Cre1, Cre3 ve Cre8) ve geri melezleme ile buğday bitkisine aktarımı sağlanmış olup *H. avenae*'ye karşı bu genler ıslah programlarında rutin olarak kullanılmaktadır (Ogbonnaya ve ark., 2001, de Majnik ve ark.,2003). Dünya genelinde biyoteknolojik bitkilerin ekiliş alanları giderek artış göstermektedir. 1996 yılında toplamda 2.8 milyon ha'lık bir alanda ekimi yapılırken 2017 yılı itibari ile 191.7 milyon ha'a ulaşmıştır (James, 2014, ISAAA, 2021). İleriki yıllarda ekim alanları daha da artış gösterecektir. Transgenik özelliğe sahip bitkilerin tüketimi konusunda gıda güvenliği açısından bir sorun yokmuş gibi düşünülse de tüketicilerin bu konu hakkındaki olumsuz düşünceleri aşılammamaktadır. Toplumda oluşan biyoteknolojik çalışmalar sonucu üretilen ürünlerin kullanımı konusundaki yanlış algıların ortadan kalkması için insan, çevre ve hedef alınmayan organizmalara karşı etkinliği ile ilgili çalışmalar daha detaylı bir şekilde yapılmalı ve elde edilen sonuçlar hem üreticiler hem de tüketiciler ile paylaşılmalı böylece bu konudaki bilinçliliğin artırılması sağlanmalıdır. Hızla ilerleyen teknoloji sayesinde bitki-nematod ilişkilerinin daha iyi anlaşılması sonucu nematod mücadelesi ile ilgili çalışmalarında buna paralel olarak her geçen gün artarak, yüksek kalitede ve verimde ürün üretmeyi hedefleyen tarımsal pazarın ihtiyacı doğrultusunda gelişeceği ve biyoteknolojik çalışmaların, entegre savaşım veya iyi tarım uygulamaları içerisinde daha fazla yer alacağı düşünülmektedir

## Kaynakça

- Agrios, G.N. (2005). Plant pathology, *Elsevier Academic Press* pp. 825-874, USA.
- Atkinson, H.J., Urwin, P.E. & Hussey, R.S. (2009). 15 Plant Biotechnology and Control. *Root-knot nematodes*, pp.338-362.
- Baker, J.E., Fabrick, J.A., Kanost, M.R., Reeck, G.R., Kramer, K.J., & Behnke, C.A. (1997). Proteinase inhibitors and resistance of transgenic plants to insects. *In Advances in insectcontrol: the role of transgenic plants*. CRC Press 1997.
- Bakker, E., Achenbach, U., Bakker, J., Van Vliet, J., Peleman, J., Segers, B., der Heijden, S., Van der Linde, P., Graveland, R., Hutten, R., Van Eck, H., Coppoolse, E., Van der Vossen, E., Bakker, J., & Govers, A. (2004). A high resolution map of the H1 locus harbouring resistance to the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis*. *Theoretical and Applied Genetics*, 109,146–152.
- Boag, B., & Yeates, G.W. (1998). Soil nematode biodiversity in terrestrial ecosystems. *Biodiversity and Conservation*, 7(5), 617-630.
- Burrows, P.R., & De Waele, D.(1997). Engineering resistance against plant parasitic nematode using anti-nematodegenes. *In: Fenoll C, Grundler FMW, Ohl SA, eds. Cellular and molecular aspects of plant-nematode interactions*.



- Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Press, pp. 217–236.
- Cai, D., Thurau, T., Tian, Y., Lange, T., Yeh, K.W., & Jung, C. (2003). Sporamin mediated resistance to beet cyst nematodes (*Heterodera schachtii* Schm.) is dependent on trypsin inhibitory activity in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) hairy roots. *Plant Molecular Biology*, 51(6), 839-849.
- Cowgill, S.E., Wright, C. & Atkinson, H.J. (2002)a. Transgenic potatoes with enhanced levels of nematode resistance do not have altered susceptibility to nontarget aphids. *Molecular Ecology* 11, 821–827.
- Cowgill, S.E., Bardgett, R.D., Kiezebrink, D.T. & Atkinson, H.J. (2002)b. The effect of transgenic nematode resistance on non target organisms in the potato rhizosphere. *Journal Applied Ecology* 39, 915–923.
- Cowgill, S.E., & Atkinson, H.J. (2003). A sequential approach to risk assessment of transgenic plants expressing protease inhibitors: effects on non target herbivorous insects. *Transgenic Research* 12, 439–449.
- Cowgill, S.E., Danks, C., & Atkinson, H.J. (2004). Multitrophic interactions involving genetically modified potatoes, nontarget aphids, natural enemies and hyperparasitoids. *Molecular Ecology*, 13(3), 639-647.
- Dağeri, A., Güz, N., & Gürkan, M.O. (2012). A New Approach to Insect Pest Management: RNA interference. *Turkish Bulletin of Entomology*, 2(3), 223-230.
- deMajnik, J., Ogonnaya, F.C., Moullet, O., & Lagudah, E.S. (2003). The Cre1 and Cre3 nematode resistance genes are located at homeologous loci in the wheat genome. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 16(12), 1129-1134.
- Dinh, P.T.Y., Brown, C.R., & Elling, A.A. (2014). RNA interference of effector gene Mc16D10L confers resistance against *Meloidogyne chitwoodi* in *Arabidopsis* and potato. *Phytopathology*, 104, 1098–1106.
- Fairbairn, D.J., Cavallaro, A.S., Bernard, M., Mahalinga-Iyer, J., Graham, M.W., & Botella, J.R. (2007). Host-delivered RNAi: an effective strategy to silence genes in plant parasitic nematodes. *Planta* 226, 1525–1533.
- Fire, A., Xu, S., Montgomery, M.K., Kostas, S.A., Driver, S.E., & Mello, C.C. (1998). Potent and specific genetic interference by double-stranded RNA in *Caenorhabditis elegans*. *Nature* 391, 806–811.
- Fleming, C.C., McKinney, S., McMaster, S., Johnston, M.J.G., Donnelly, P., Kimber, M.J., & Maule, A.G. (2007). Getting to the root of neuronal signalling in plant-parasitic nematode using RNA interference. *Nematology* 9, 301–315.
- Fosu-Nyarko, J., & Jones, M.G., (2015). Chapter Fourteen-Application of biotechnology for nematode control in crop plants. *Advances in Botanical Research*, 73, 339-376.
- Freckman, D.W., & Baldwin, J.G., (1990). Nematoda. *Soil biology guide*. Wiley, New York, pp. 155-200.
- Fuller, V.L., Lilley, C.J., Atkinson, H.J., & Urwin, P.E. (2007). Differential gene expression in *Arabidopsis* following infection by plant-parasitic nematodes *Meloidogyne incognita* and *Heterodera schachtii*. *Molecular Plant Pathology*. 8, 595–609.
- Fuller, V.L., Lilley, C.J., & Urwin, P.E. (2008). Nematode resistance. *New Phytologist*, 180, 27-44.
- Gheysen, G., & Vanholme, B. (2007). RNAi from plants to nematodes. *Trends in Biotechnology*, 25, 89–92.
- Hamamouch, N., Li, C., Hewezi, T., Baum, T.J., Mitchum, M.G., Hussey, R.S., Vodkin, L.O., & Davis, E.L., (2012). The interaction of the novel 30C02 cyst nematode effector protein with a plant beta-1,3 endo glucanase may suppress host defence to promote parasitism. *Journal of Experimental Botany*, 63, 3683–3695.
- Harris, R.F. (1981). Effect of water potential on microbial growth and activity. *Water Potential Relations in Soil Microbiology*, 23-95.
- Hepher, A., & Atkinson, H.J. (1992). Nematode control with protease inhibitors. *European Patent Publication*. Number 0,502,730 A, 1.
- Hilder, V.A., Gatehouse, A.M., Sheerman, S.E., Barker, R.F., & Boulter, D. (1987). A novel mechanism of insect resistance engineered into tobacco. *Nature*, 330(6144), 160-163.
- Hohn, T. (2007). Plant virus transmission from the insect point of view. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 13, 104(46), 17905-17906.
- Huang, G.Z., Allen, R., Davis, E.L., Baum, T.J., & Hussey, R.S. (2006)a. Engineering broad root-knot resistance in transgenic plants by RNAi silencing of a conserved and essential root-knot nematode parasitism gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 103, 14302–14306.
- Huang, G., Dong, R., Allen, R., Davis, E.L., Baum, T.J., & Hussey, R.S., (2006)b. A root-knot nematode secretory peptide functions as a ligand for a plant transcription factor. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 19, 463–470.
- Ibrahim, H. M., Hosseini, P., Alkharouf, N. W., Hussein, E. H., Abd El Kader, Y., Aly, M. A., & Matthews, B. F. (2011). Analysis of gene expression in soybean (*Glycine max*) roots in response to the root knot nematode *Meloidogyne incognita* using micro arrays and KEGG pathways. *BMC genomics*, 12(1), 1-16.
- ISAAA, 2021. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA) [https://www.isaaa.org/resources/publications/biotech\\_booklets/beyondpromises/download/default.asp](https://www.isaaa.org/resources/publications/biotech_booklets/beyondpromises/download/default.asp) [Erişim Tarihi: 04.04.2021]
- James, C., (2014). Global Status of Commercialized Biotech. ISAAA No. Brief. 49. ISAAA: Ithaca, NY. 2014.
- Jammes, F., Lecomte, P., de Almeida Engler, J., Bitton, F., Martin-Magninette, M.L., Renou, J.P., Favery, B., & Abad, P. (2005). Genome-wide expression profiling of the host response to root-knot nematode infection in *Arabidopsis*. *Plant Journal* 44, 447–458.
- Jorgensen, R.A., Cluster, P.D., English, J., Que, Q., & Napoli, C.A. (1996). Chalcone synthase cosuppression phenotypes in petunia flowers: comparison of sense vs. antisense constructs and single-copy vs. complex T-DNA sequences. *Plant Molecular Biology* 31, 957–973.
- Keen, N. (1999). Mechanisms of pest resistance in plants, pp. 33-36. *Proceeding of A Workshop on Ecological Effects of Pest Resistance Genes in Managed Ecosystems (31 January-3 February, 1999, Bethesda, Maryland, USA)*, 131.
- Kepenekci, İ. (2012). Nematoloji (*Bitki Paraziti ve Entomopatojen Nematodlar*) [*Genel 4 Nematoloji (Cilt-I) ISBN 978-605-4672-11-0, Taksonomik Nematoloji (Cilt-II) 5 ISBN 978-605-4672-12-7*] Eğitim, Yayın ve Yayınlar Dairesi Başkanlığı, 6 Tarım Bilim Serisi Yayın No:3 (2012/3), LIV+1155.
- Klink, V. P., Kim, K. H., Martins, V., MacDonald, M. H., Beard, H. S., Alkharouf, N. W., ... & Matthews, B. F. (2009). A correlation between host-mediated expression of parasite genes as tandem inverted repeats and abrogation of

- development of female *Heterodera glycines* cyst formation during infection of *Glycine max*. *Planta*, 230(1), 53-71.
- Li, X.Q., Wei, J.Z., Tan, A., & Aroian, R.V. (2007). Resistance to root-knot nematode in tomato roots expressing a nematocidal *Bacillus thuringiensis* crystal protein. *Plant Biotechnology Journal* 5, 455-464.
- Lilley, C.J., Bakhetia, M., Charlton, W.L., & Urwin, P.E., (2007). Recent progress in the development of RNA interference for plant parasitic nematodes. *Molecular Plant Pathology*, 8, 701-711.
- Lin, B., Zhuo, K., Wu, P., Cui, R., Zhang, L.H., & Liao, J., (2013). A novel effector protein, MJ-NULG1a, targeted to giant cell nuclei plays a role in *Meloidogyne javanica* parasitism. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 26, 55-66.
- Lopes-Caitar, V.S., Pinheiro, J.B. & Marcelino-Guimaraes, F.C. (2019). Nematodes in horticulture: An overview. *Journal of Horticultural Science and Crop Research*, 1(1), 106.
- Maggenti, A.R., (1991). Nematoda: higher classification. *Manual of Agricultural Nematology*, Marcel Decker, New York, 147-187.
- Marban-Mendoza, N., Jeyaprakash, A., Jansson, H.B., Damon, R.A., & Zuckerman, B.M. (1987). Control of root-knot nematodes on tomato by lectins. *Journal of Nematology* 19, 331-335.
- Marroquin, L.D., Elyassnia, D., Griffiths, J.S., Feitelson, J.S., & Aroian, R.V. (2000). *Bacillus thuringiensis* (Bt) toxin susceptibility and isolation of resistance mutants in the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Genetics*, 155(4), 1693-1699.
- Nicol, J.M., Turner, S.J., Coyne, D.L., Den Nijs, L., Hockland, S., & Maafi, Z.T. (2011). Current nematode threats to World agriculture. In *Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions* Springer Netherlands 21-43.
- Ogbonnaya, F.C., Subrahmanyam, N.C., Moullet, O., De Majnik, J., Eagles, H.A., Brown, J.S., Eastwood, R.F., Kollmorgen, J., Appels, R., & Lagudah, E.S., (2001). Diagnostic DNA markers for cereal cyst nematode resistance in bread wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52(12), 1367-1374.
- Oka, Y., Chet, I., & Spiegel, Y. (1997). An immunoreactive protein to wheat-germ agglutinin antibody is induced in oat roots following invasion of the cereal cyst nematode *Heterodera avenae*, and by jasmonate. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 10: 961-969.
- Oka, Y. (2020). From Old-Generation to Next-Generation Nematicides. *Agronomy*, 10(9), 1387.
- Öktem, H.A. (2001). Böceklerle Dayanıklı Transgenik Bitkilerin Geliştirilmesi; Bitki Biyoteknolojisi Edt.; Sebahattin Özcan, Ekrem Gürel, Mehmet Babaoğlu, Türkiye.
- Özcan, S. (2001). Bitki Biyoteknolojisi Edt.; Sebahattin Özcan, Ekrem Gürel, Mehmet Babaoğlu, Türkiye.
- Patel, N., Hamamouch, N., Li, C., Hussey, R., Mitchum, M., Baum, T., Wang, X., & Davis, E.L. (2008). Similarity and functional analyses of expressed parasitism genes in *Heterodera schachtii* and *Heterodera glycines*. *Journal of Nematology*, 40, 299-310.
- Pekcan, G., Köksal, E., Küçükerdönmez, Ö., & Özel, H., (2006). Household food waste in Turkey. *Statistics Division, Working Papers series NESS/ESSA/006e. Rome, FAO*.
- Perry, R.N., & Moens, M., (2006). Ectoparasitic Nematodes, *Plant Nematology* CABI, Belgium 266-271.
- Peumans, W.J., & Van Damme, E.J.M. (1995). Lectins as plant defense proteins. *Plant Physiology*, 109: 347-352.
- Ryan, C.A. (1990). Protease inhibitors in plants: genes for improving defenses against insect and pathogens. *Annual review of phytopathology*, 28(1), 425-449.
- Sindhu, A.S., Maier, T.R., Mitchum, M.G., Hussey, R.S., Davis, E.L., & Baum, T.J. (2009). Effective and specific in planta RNAi in cyst nematodes: expression interference of four parasitism genes reduces parasitic success. *Journal of Experimental Botany*, 60, 315-324.
- Steeves, R.M., Todd, T.C., Essig, J.S., & Trick, H.N. (2006). Transgenic soybean expressing iRNAs specific to a major sperm protein gene suppress *Heterodera glycines* reproduction. *Functional Plant Biology* 33, 991-999.
- Thorne, G. 1961. Principles of Nematology. *Principles of Nematology* 1961.
- Thurau, T., Ye, W., & Cai, D. (2010). Insect and nematode resistance. In *Genetic Modification of Plants* Springer Berlin Heidelberg. 177-197.
- Toros, S., Maden, S., & Sözeri, S. (1991). Tarımsal Savaşım Yöntem ve İlaçları. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yay*, 1222.
- Urwin, P.E., Lilley, C.J., McPherson, M.J., Atkinson, H.J. (1997). Resistance to both cyst- and root-knot nematodes conferred by transgenic *Arabidopsis* expressing a modified plant cystatin. *Plant Journal* 12, 455-461.
- Urwin, P.E., McPherson, M.J., & Atkinson, H.J., (1998). Enhanced transgenic plant resistance to nematodes by dual proteinase inhibitor constructs. *Planta*, 204, 472-479.
- Urwin, P.E., Levesley, A., McPherson, M.J., & Atkinson, H.J., (2000). Transgenic resistance to the nematode *Rotylenchulus reniformis* conferred by *Arabidopsis thaliana* plants expressing proteinase inhibitors. *Molecular Breeding*, 6, 257- 264.
- Vai, P., Worland, B., Clarke, M.C., Richard, G., Beavis, M., Liu, H., Kohli, A., Leech, M., Snape, J., Christou, P., & Atkinson, H., (1998). Expression of an engineered cysteine proteinase inhibitor (OC-IAD86) for nematode resistance in transgenic rice plants. *Theoretical and Applied Genetics*, 96, 266 271.
- Valentine, T.A., Randall, E., Wypijewski, K., Chapman, S., Jones, J., & Oparika, K.J. (2007). Delivery of macro molecules to plant parasitic nematodes using a tobacco rattle virus vector. *Plant Biotechnology Journal* 5, 827-834.
- Vishnudasan, D., Tripathi, M.N., Rao, U., Khurana, P. (2005). Assessment of nematode resistance in wheat transgenic plants expressing potato proteinase inhibitor (PIN2) gene. *Transgenic Research* 14, 665-675.
- Waterhouse, P.M., Graham, M.W., & Wang, M.B., (1998). Virus resistance and gene silencing in plants can be induced by simultaneous expression of sense and antisense RNA. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 95, 13959-13964.
- Wei, J.Z., Hale, K., Carta, L., Platzer, E., Wong, C., Fang, S.C., & Aroian, R.V. (2003). *Bacillus thuringiensis* crystal proteins that target nematodes. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 100, 2760-2765.
- Yadav, B.C., Veluthambi, K. & Subramaniam, K. (2006). Host-generated double stranded RNA induces RNAi in plant-parasitic nematodes and protects the host from infection. *Molecular and Biochemical Parasitology* 148, 219- 222.



# Otomobil Seçimi İçin TOPSIS Temelli Bir Karar Verme Yaklaşımı

Sezin Gülyüz<sup>1\*</sup>, Aysel Çokyaşar<sup>2</sup>,

<sup>1\*</sup> Bartın Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Bartın, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9858-7115)  
sezinguleryuz@gmail.com

<sup>2</sup> Bartın Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Bartın, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8460-5960),  
ayselcokyasar@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 16 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010625)

**ATIF/REFERENCE:** Gülyüz, S. & Çokyaşar, A. (2021). Otomobil Seçimi İçin TOPSIS Temelli Bir Karar Verme Yaklaşımı. *European Journal of Science and Technology*, (31), 713-724.

## Öz

Kişiler ya da şirketler seçim yaparken çok fazla alternatif ve kriterleri değerlendirip analiz eder. Bu kararları verirken çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniklerinden yararlanarak bilimsel, doğru ve kabul edilebilir kararlar oluşturabilirler. ÇKKV problemlerinde belirli sayıda alternatifler karşılaştırılarak derecelendirilir. Bilimsel yöntemler kullanılarak en iyisi seçilmeye çalışılır. Günümüzde endüstriyel, finansal ve ekonomik karar problemleri çok kriterli yapıdadır. Her gün yenilenen teknoloji ile otomobil üreticileri, tüketicilere çok çeşitli model ve alternatif sunmaktadır. Tüketiciler otomobil satın alırken sadece markasına ya da fiyatına bakmazlar. Yakıt, performans, tasarım gibi kriterlerde seçim yapmada etkilidir. Fakat her tüketicinin optimal seçeneği farklılık göstermektedir. Kimine göre yakıt tasarrufu yüksek kriter olurken, kimine göre ise tasarım ve donanım satın alma da belirleyici olabilir. Bu çalışmada ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) tekniği kullanılarak tüketicilerin otomobil satın alırken seçimlerine yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Çalışmanın özgünlüğü, literatürde sıklıkla kullanılan TOPSIS yönteminin gerçek bir olayla uygulanmasından kaynaklanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Otomobil Seçimi, Çok Kriterli Karar Verme, TOPSIS.

## A Decision Making Approach for Automobile Selection Based on TOPSIS

### Abstract

Individuals or companies evaluate and analyze too many alternatives and criteria when choosing. While making these decisions, they can make scientific, successful and acceptable decisions by using multi-criteria decision-making techniques. In multi-criteria decision making problems, a certain number of alternatives are compared and ranked. The best is tried to be selected by using scientific methods. Today, industrial, financial and economic decision problems are multi-criteria. With the technology renewed every day, automobile manufacturers offer a wide variety of models and alternatives to consumers. Consumers do not only look at the brand or price when buying a car. It is effective in choosing criteria such as fuel, performance and design. But the optimal choice of each consumer differs. For some, fuel economy is a high criterion, while for others, design and equipment purchase can also be decisive. In this study, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) method, which is one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) techniques aims to help consumers make their choices while purchasing a car. The originality of the study is due to the application of the TOPSIS method, which is frequently used in the literature, with a real case.

**Keywords:** Automobile Selection, Multi Criteria Decision Making, TOPSIS.

\* Sorumlu Yazar: Sezin Gülyüz, [sezinguleryuz@gmail.com](mailto:sezinguleryuz@gmail.com)



## 1. Giriş

Modern ekonominin gelişmesinde en kritik yere sahip olan otomotiv sektörü, bu sanayinin belirlediği teknik verilere uygun parça, modül ve sistemler üreten ve yan sanayinin tamamını bünyesine alan bir sanayi koludur. Otomotiv sanayi, petro-kimya, demir, çelik gibi temel sanayi dallarının başlıca müşterisi olduğundan sektöre yön veren lider konumdadır. Demir-çelik, makine, elektronik, kauçuk, cam, plastik, akaryakıt gibi birçok temel sanayi ürünlerini alıcısı olması sebebiyle bu sanayilerin gelişimine de katkı sağlamaktadır.

Küresel ölçekte olan ekonomik dalgalanmalar diğer sektörler gibi otomotiv üreticilerini de etkilemektedir. Üretim maliyetlerinin de artması ile satış ve satış sonrası süreçlerde bu dalgalanmadan müteessir olmuştur. 2019 yılının son çeyreğinde Wuhan'da ortaya çıkan Covid-19 salgını sebebiyle bazı markalar üretimleri durdurma noktasına gelmiştir. Yedek parça sıkıntısının yaşanması, yeni araç üretiminin olmayışı otomobil dünyasını sekteye uğratmıştır. Araç fiyatlarının yükselmesi, kur dalgalanmaları, faiz artışı, vergilerin artması, kişi başına düşen gelirin azalması gibi etkenler göz önüne alındığında hala tüketiciler tarafından tercih edilmektedir. Çünkü tüketiciler için otomobil almak lüks değil ihtiyaç haline gelmiştir.

2020 yılına baktığımızda Türkiye'de 1.000 kişiye düşen otomobil sayısı 281 adede ulaştığı açıklanmıştır. Avrupa'da ise bu oran, her 1.000 kişide 602 adet düzeylerinde gerçekleşmiştir. (TÜİK) 2021 Mayıs ayı otomobil pazarı geçtiğimiz Mayıs ayına göre yüzde 69,8 artış gösterip 54 bin 734 adet olmuştur. Otomobil satışları 2021 yılı Mayıs ayında geçtiğimiz yılın Mayıs ayına göre yüzde 72,1 artış gösterip 43 bin 138 adede ulaşmıştır. Verilerden de anlaşıldığı gibi Türkiye otomotiv sektöründe vazgeçilmez bir paydaştır. Türkiye, Avrupa'ya en fazla ihracat yapan ülke olup, otomotiv üretiminde de dünyada 15., Avrupa'da ise 5. sırada yer almaktadır.

Son yıllara baktığımızda güncellenen teknoloji ve değişen ekonomi ile birlikte otomotiv sektörü de gelişmesine hız kattı. Dünyadaki gelişmelerle birlikte elektrikli otomobil Türkiye'de de gündeme geldi. Üretici firmalar hibrit ve elektrikli araçları müşterilerin beğenisine sundu. Fakat ortaya çıkan bir ürünün satışının yapılabilmesi için satış sonrası işlemlerin de tamamlanması gerekmektedir. Örneğin elektrikli bir otomobil aldığımızı varsayarsak henüz şarj üniteleri yaygın olmadığından, yedek parça sorunları ortaya çıkacağından, aracımız bozulduğunda servise götüreceğimiz yetkili bayinin konu hakkındaki bilgisinin yetersiz olmasından bu tip araçları tercih edemeyiz.

Tüketicilerin giderek artan rekabet ortamında varlıklarını sürdürebilmesi için en iyi kararları vermesi gerekmektedir. Otomobil satın alırken dikkat edilmesi gereken maliyetler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada, tüketicinin belirlediği fiyat aralığında seçili marka araçların kriterlerine bakılarak en uygun otomobili seçme problemine TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) yöntemini kullanarak çözüm sağlanmıştır. Konuyla ilgili bir uzman tarafından değerlendirme için destek alınmıştır. TOPSIS metodu ile ilgili yapılan çalışmalar literatür taraması yapılarak araştırılmıştır. Sonrasında çalışma TOPSIS metodu açıklanmış ve yapılan araştırmanın sonuçlarını ortaya koyacak değerlendirmeler analiz edilmiştir.

## 2. Literatür Taraması

### 2.1. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV)

Günlük hayatta pek çok alanda seçenekler arasından karar vermek durumunda kalmaktayız. Seçenekler arasında tek bir kriter olduğunda karar vermek kolaydır. Fakat birden fazla ve birbirleriyle çelişen karmaşık kriterler arttıkça karar verme zorlaştırmaktadır. Çok fazla değişkenin bulunduğu durumlarda, karar verme işlemi kolaylaştırabilmek için birtakım metodların gerekli görülmesiyle 1960'lı yıllarda çok değişkenli karar verme yöntemleri geliştirilmeye başlanmıştır (Güleryüz, 2020). İlk başlarda yöneylem ve karar teorisi araştırmalarında kullanılmıştır. Daha sonra iktisadi ve mali alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır (Bulak vd. 2021).

ÇKKV, karar vericinin sonlu seçenekler arasından minimum iki değişkeni göz önünde bulundurarak seçim yapma işlemidir ve karar birimlerinin bir alt dalıdır. Karar sürecini değişkenlere göre modeller ve sonuçları analizinde sıklıkla kullanılır (Çaylak, 2019; Yiğit ve Akpınar, 2021). Bu yöntemle eldeki birden fazla karmaşık kriterlerle analiz edilen alternatifler üzerinde en ideal çözümü belirleme sürecidir (Kekilli vd., 2021). Örneğin, bir otomobil satın alırken kişinin değerlendirmesi gereken pek çok kriter vardır. Arabanın yakıt tasarrufu, koltuk sayısı, motor hacmi, konforu, fiyatı, vergi yükümlülükleri bunlardan sadece birkaçıdır. Tüketicinin önem verdiği kriterler de zamana göre değişkenlik gösterebilir. Kriterlerden birkaçının birbiriyle çeliştiği görülür. ÇKKV bu tarz problemlere çözüm bulmak için kullanılmaktadır.

Literatürde kendine özgü karakteristik özelliği bulunan karar verme teknikleri bulunmaktadır. Bir problemin ÇKKV problemi sayılabilmesi için minimum iki adet kriter ve minimum iki adet alternatif çözüm olmalıdır. Çok kriterli karar verme problemleri, alternatif sayısına göre, genel olarak iki grupta incelenmektedir. Her iki grupta farklı özelliklere sahiptir ve farklı veri tiplerine ihtiyaç duyarlar. Bu kavramlar birbirileri ile sürekli olarak karşılaştırılmaktadır.

- Çok Amaçlı Karar Verme: Belirlenen seçeneklerin matematiksel bir programlama tekniği ile dolaylı olarak tanımlandığı sürekli durumda karar vermedir. Bu tür karar verme problemlerinde amaç en iyi alternatifi belirlemektir. Bir tasarım problemi olup, alternatiflerin sayısı önceden belirlenmemektedir. Bu grupta sayılabilecek yöntemleri hedef programlama ve dinamik programlama olarak sayabiliriz.

- Çok Kriterli Karar Verme: Alternatiflerin belirli ve tanımlanabilir olduğu ve kesikli durumlarda olan karar verme türüdür. Alternatifler belirli olduğundan sayısal teknikler kullanan metodlarla kriterler açısından değerlendirilmektedir. Bu amaçla kullanılan en eski teknik ağırlıklı toplamsal yöntemdir. TOPSIS, AHP, ELECTRE, PROMETHEE yöntemleri bu grupta sayılabilecek yöntemlerdir. Aşağıdaki Tablo 1'de ÇKKV yöntemlerinin sınıflandırılmasını gösterilmiştir.

### 2.2. ÇKKV Yöntemlerinin Özellikleri

ÇKKV algoritmalar veya metodların yanı sıra kişiye ait yönetsel görevi de bünyesinde barındırır. Bu yöntemlerde, birden fazla alternatif arasından sınırlı sayıda seçim yapılır ve modellerle ilgili kriterler oluşturulur. Farklı birimlerde sunulan kriterler varsa bu ölçüm farklılıkları giderilmelidir. Nitel ve nicel



kriterlerin ölçüm birimi aynı değildir. Bunu gidermek için normalizasyon teknikleri kullanılır. ÇKKV problemlerinde kriterlerin görece önem derecelerini bulabilmek için seçilen konuya hakim bilgili uzmanların olması gerekir. Önem ağırlıkları karar verici tarafından belirlenir veya bu ağırlıklar çeşitli tekniklerle bulunabilir.

Tablo 1. ÇKKV Tekniklerinin Sınıflandırılması (Triantaphyllou, 2000)

	Karar Vericiden Gelen Bilgi	Bilginin Önem Durumu	Yöntemin Temel Sınıfı
Çok Kriterli Karar Verme	Bilgi yok		Dominant Maxmin Minmax
	Niteliklere Ait Bilgi	Standart Seviye	Birleşik Birleşik Olmayan
		Ordinal	Permütasyon ile Lexicographic Eliminasyon
		Kardinal	Doğrusal Atama SAW AHP ELECTRE TOPSIS
		İkamenin Marjinal Oranı	Hiyerarşik Değişim
	Alternatiflere Ait Bilgi	Tercihler	LINMAP İnteraktif SAW
		Yakınlık Sıralaması	MDS

Daha iyi çözüm seçenekleri için çok kriterli karar verme yöntemleri hem niteliksel hem de niceliksel olarak ele alınır. Çok kriterli karar verme sorunları satırlarda alternatifler, sütunlarda ise kriterler bulunduran karar matrisi adı verilen matriste pratik olarak ifade edilebilir.

### 2.3. ÇKKV Yöntemlerinin Avantajları

Çok fazla ve karmaşık kriterler olduğu durumda karar verme süreci için ortak bir platform oluşturur. Dağınık olarak bulunan ya da çok büyük miktardaki veriler değerlendirmeye alınabilir. Nitel ve nicel kriterler bir arada değerlendirilebilir. Karar sürecini sistemli olarak yürütüp karmaşık konuların analiz edilmesini kolaylaştırmaktadır. Kriter değerlendirmelerde gereken uzman görüşleri ile karar vericinin sübjektif değerlendirmeleri birleştirilebilir.

### 2.4. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Dezavantajları

Alternatifler içinde bazen karşılaştırılmama problemi ortaya çıkmaktadır. Bir alternatif bir ölçüte göre diğer seçenektan üstünken başka bir ölçüte göre tam tersi bir değerlendirme oluştuğunda hangi alternatifin daha iyi olduğunu belirleyebilmek için daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Değerlendirme, karar vericinin seçimlerine göre değişebilir nitelikte olduğundan

bu seçimleri yansıtan ek modelleme gerekmektedir. Çoğu karar verme sorununda, bir alternatifin diğer tüm kriterlere oranla diğer alternatiflerden üstün olduğu bir durumla karşılaşılmaz. Diğer bir deyişle problemler matematiksel olarak net bir biçimde fiade edilemez. Net olarak tanımlanama yapılamadığından, uzlaşık çözümler en yakın sonuçlar olarak ele alınabilir. Ayrıca, öznel değerlendirmeler, farklı zamanlarda farklı sonuçlar verebilmektedir. Bunlar çok kriterli karar verme yöntemlerinin dezavantajlarından bazıları sayılabilmektedir.

## 3. Metodoloji

### 3.1. TOPSIS Yöntemi Tanımı ve Özellikleri

TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon ve tarafından 1981 yılında geliştirilmiştir ve karar noktalarının ideal çözüme yakınlığı prensibine temel almaktadır (Hwang ve Yoon, 1981). Buna göre ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme ise en uzak mesafede alternatif seçilmektedir. Bu aralıkların çift yönde olması ile bazen maksimize edilecek durumlar, bazen de minimize edilmesi gereken durumlar ortaya koyar. TOPSIS yönteminde, bütün değerlendirme kriterlerinin artan veya azalan bir eğilime sahip olduğu için ideal ve negatif ideal çözümleri bulmak basittir. Bulunan bu çözümlerle alternatiflerin sıralaması yapılmaktadır.

TOPSIS yöntemini kullanarak alternatifler belirli ölçütler doğrultusunda ve ölçütlerin alabileceği maksimum ve minimum değerler aralığında, ideal duruma göre analiz edilmesi gerekmektedir. Yöntemde pozitif ve negatif ideal çözüm adı verilen iki kavram bulunmaktadır. Maliyet kriterinin minimize olup, fayda kriterinin de maksimum olmasının sağlandığı durum pozitif ideal çözümdür. Fayda kriterinin minimum, maliyet kriterinin maksimum olarak elde edildiği çözüm ise negatif ideal çözümdür.

### 3.2. TOPSIS Yöntemi Uygulama Alanları

TOPSIS yöntemi, tesis yeri seçimi (Boran, 2011), tedarikçi seçimi (Jain vd., 2016), dijital tedarik zinciri yönetimi (Yıldızbaşı, 2021), yatırım seçimi (Tan, 2011), enerji ile ilgili uygulamalar (Aslay, 2021), danışman seçimi (Kekilli vd., 2021) yenilenebilir enerji kaynak seçimi (Boran vd., 2012), partner seçimi (Büyükoçkan ve Güleriyüz, 2016), bankacılık sektörü (Özkan, ve Deliktaş, 2020), personel seçimi (Boran, 2009), E-ticaret siteleri değerlendirmeleri (Bulak vd., 2021), Arge projeleri ile ilgili uygulamalar (Kiraz vd., 2018) üçüncü parti lojistik firma seçimi (Su vd., 2011), sağlık sektörü uygulamaları (Chen, 2015; Miç ve Antmen, 2019), inovasyon projeleri seçimi (Oralhan ve Büyüktürk, 2019) tersine lojistik uygulamaları (Sharma vd., 2021) gibi alanlarda ve endüstride birçok alanda başarıyla uygulanmıştır.

Yurdakul ve İç (2003) çalışmalarında, Türkiye’de otomotiv sanayinde faaliyet gösteren büyük ölçekte beş firmanın seçilmiştir. Seçilen firmaların 1998 ile 2001 yılları arasındaki bilançoları değerlendirilmiş ve finansal oranlar yardımıyla firmaları derecelendirmişlerdir. Yapılan çalışmada performans ölçümünde kullanılan finansal oranlar belirtilmiş ve firmalar için analizler yapılmıştır. TOPSIS yöntemi ile elde edilen performans sıralamaları ile firmaların hisse senedi getiri sıralamaları arasında benzerlikler çalışma sonucunda belirlenmiştir.

Boran (2009) tarafından yapılan çalışmada, bilişim sektöründe yer alan bir firma için satış uzmanı seçme problemi ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmada TOPSIS yöntemi uygulanarak en ideal personel seçimi yapılmıştır.

Yükü ile Atağan (2010) tarafından yapılan çalışmada, ele alınan üç otel için performans hesaplamaları yapılmıştır. TOPSIS yönteminin performans değerlendirmede başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür ve karar vericiler için TOPSIS yönteminin farklı değerlendirme seçenekleri ortaya koyduğu tespit edilmiştir.

Dumanoğlu (2010) tarafından yapılan çalışmada, 2004-2009 yıllarında arasında İMKB’de işleme alınan on beş çimento şirketinin mali başarımlarını TOPSIS’le değerlendirmiştir. Seçili şirketlerden bazılarının iyileşme gösterirken bazılarının kötüleştiği, bazılarının ise performans değerlendirmedeki sırasını koruduğu sonucuna ulaşmıştır.

Şahin ve Akyer (2011) tarafından yapılan çalışmada, sınırlı kaynaklar ile hizmet kalitesinden ödün vermeden kamu giderlerinin nasıl verimli bir şekilde kullanabileceklerini anlatmıştır. Kamu da yapılan araç alımlarının, 4x4 araçların seçimini ise TOPSIS ve AHS yöntemleri ile analiz etmişlerdir.

Torlak vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’de faaliyet gösteren ulusal havayolu şirketinden dört tanesi seçilmiştir. Ürün kalitesi, verimlilik, müşteri hizmetleri, e-ticaret, reklam gibi veriler kullanılmıştır. Bulanık TOPSIS yöntemiyle seçilen şirketlerin performansları değerlendirilmiştir. Bütün başarı faktörleri değerlendirme neticesinde göz önünde bulundurularak, en başarılı firma olarak Türk Hava Yolları belirlenmiştir. Pegasus, Atlas Jet ve Onur Air sıralamayı takip etmiştir.

Alp ile Engin (2011) tarafından yapılan çalışmada, trafik kazalarının nedenleri ve sonuçları arasındaki ilişkiyi Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak analiz etmiştir. Trafik kazalarının sebeplerinin, neticeleri üzerine etkilerinin farklı düzeylerde olduğu yaklaşık olarak belirtilmiştir. Bu konu hakkında uzmanlara yapılan anketlerin değerlendirilmiştir. AHP ve TOPSIS yöntemleriyle analiz edildikten sonra elde edilen sonuçlar incelenmiş ve her iki yöntem tarafından kaza sebeplerinin sonuçları üzerindeki etkilerinin mühim kabul edilebilecek farklılık göstermediği neticesine varılmıştır.

Yağız (2012) çalışmasında, hisseleri Borsa İstanbul (BİST)’de işlem gören Enerji şirketlerinin elektrik sektöründeki beş firmanın 2006-2010 yıllarına ilişkin mali tablolarını, genel olarak analizini ve sektör içinde mukayeselerini TOPSIS ile sıralamıştır. Elde edilen sonuçlara göre şirketlerden birisi hariç diğer şirketlerinin likit olduğu, sektörde yer alan şirketlerin güçlü bir sermayesinin ve borç yapısının olduğu sonucuna varmıştır.

Atmaca (2012) çalışmasında, İMKB’de ele alınan dört büyük spor şirketinin TOPSIS yöntemini ile finansal performansı değerlendirmiştir. Değerlendirmede Galatasaray, Fenerbahçe, Beşiktaş ve Trabzonspor’un 2003-2010 yılları arasında temel finansal tabloları incelenmiştir. Bu tablolardan elde edilen sonuçlarda spor şirketlerinin mali yapı, varlık, sermaye gibi konularda finansal oranlar kullanılarak spor şirketlerinin başarı durumlarının finansal performans düzeylerinin çok etkilendiğini analiz edilmiştir. Başarı durumlarının, şirketlerin finansal tablolarına yansıtıldığı ortaya koyulmuştur.

Belbağ, Deveci, Uludağ (2013) tarafından yapılan çalışmada, Ankara’da ikinci bir havalimanı yerinin seçimi için karar vericilerin belirsiz ve kesin olmayan değerlendirmelerinden kaynaklanan dilsel faktörlerin belirsizliğini ortadan kaldırmak

için ELECTRE ve bulanık TOPSIS yöntemi birlikte kullanılmış ve uzman görüşlerinden faydalanılarak en optimal yerin seçimine ilişkin karar her iki yöntemin sonuçları doğrultusunda değerlendirilmiştir.

Topçu ile Oralhan (2017) tarafından yapılan çalışmada; OECD ülkeleri arasında Türkiye’nin yerini, Türkiye ve diğer ülkelerin ekonomik performanslarını karşılaştırmayı ELECTRE ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak analiz etmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda 2010 ile 2015 yılları arasında Almanya ve İngiltere ilk sırada yer alan iki ülke olurken, Türkiye otuzuncu sırada yer almıştır. Türkiye’nin ekonomisi 2010 ile 2015 yılları arasındaki dönem ortalamasına bakılınca Portekiz, Estonya, Slovenya, Yunanistan ve Macaristan gibi ülkelerle yaklaşık olarak aynı performansı gösterdiği görülmüştür. Aynı zamanda Türkiye ekonomisi Yunanistan ve Portekiz’e göre daha yüksek performans elde etmiştir.

Kalıntaş ve Eren (2019) tarafından yapılan çalışmada, 2018-2019 yılları arasında BİST Kurumsal Yönetim Endeksi Kapsamındaki Firmaların TOPSIS ve Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile performans değerlendirmesi yapılmıştır. Her iki analiz yöntemiyle elde edilen sonuçlara göre 18 numaralı firmanın en düşük performansa sahipken, 12 numaralı firmanın en iyi performansa sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Selimler (2019) tarafından yapılan çalışmada, leasing, finansman ve faktoring şirketlerinin 2015-2018 yılları arasında kredi yönetim performanslarının sıralamasını TOPSIS yöntemi ile analiz etmiştir. Finansman şirketlerinin 2017 yılındaki performansını ilk sırada olduğu tespit edilmiştir. Şirket gruplarının durumlarının seneler içinde değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Performans sıralamasında her grubunun iyi olduğu ve kötü olduğu yıllar tespit edilmiştir. 2017 yılına ait verilerde her üç grubun en iyi performans yılı olduğu denilebilir. 2018 yılı ise seçilen üç grup şirketlerin en verimsiz yılı olarak değerlendirilmiştir.

Çaylak (2019) tarafından yapılan çalışmada, tüketicilerin otel tercihleri yaparken müşteri puanlamalarından yararlanarak en uygun otelin belirlenmesi için TOPSIS yöntemini kullanmıştır.

Özkan (2020) tarafından yapılan çalışmada, seçilen 10 adet bankanın ticari performansları TOPSIS yöntemiyle analiz edilmiştir. Bankaların finansal performans ölçümlerinin dikkatle yapılmasının ilerleyen dönemdeki krizlere karşı önlemler alınması ve rakip bankalar ile rekabet edebilme yeteneklerinin güçleneceği sonucuna varmıştır.

Bulak vd. (2021) çalışmasında e-ticaret sitelerinin kullanılabilirliğini TOPSIS yöntemiyle sıralamıştır. Seçilen 10 e-ticaret sitesinden alınan veriler doğrultusunda kullanıcılara anektler yapılarak sonuçlar analiz edilmiştir.

Kekilli vd. (2021) yaptıkları çalışmada entegre Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak, şirket için en uygun danışmanı seçme problemini ele almışlardır.

### **3.3. TOPSIS Yönteminin Aşamaları**

#### **3.3.1. Karar Matrisinin (A) Oluşturulması**

TOPSIS yönteminde ilk olarak karar matrisi oluşturulur. Karar noktalarını (m), sütunlarında da karar vermede kullanılacak

değerlendirme kriterleri (n) bulunmaktadır.  $A_{ij}$  matrisinde karar noktası sayısını m, değerlendirme faktörü sayısını ise n ile gösterilir. A matrisi, başlangıç matrisi olup karar vericinin verdiği bilgilerle oluşturulur. Karar matrisinin gösterimi Denklem (1) yardımıyla açıklanmaktadır.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

### 3.3.2. Standart Karar Matrisinin (R) Oluşturulması

A matrisinin elemanlarından faydalanarak, belirtilen formül kullanılıp standartlaştırılmış karar matrisi Denklem (2) oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (2)$$

Hesaplamalar sonucu R matrisi Denklem (3)'de belirtilmiştir.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

### 3.3.3. Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (V) Oluşturulması

Değerlendirme kriterlerinin önemi, karar vericiye göre değişiklik gösterebilir. Ağırlıklı standart karar matrisi, bu farklılıkları çözüme yansıtılabilmek için hesaplanır. Bu aşamada ilk olarak karar verici tarafından değerlendirme kriterlerinin önem

ağırlıkları ( $w_i$ ) belirlenir ( $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ). Daha sonra, R matrisinin

her bir sütunu, karar verici tarafından belirlenen bu önem ağırlıkları ile çarpılarak V matrisi oluşturulur. V matrisi Denklem (4)'te gösterilmektedir.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

### 3.3.4. İdeal ( $A^*$ ) ve Negatif ( $A^-$ ) Çözümlerin Oluşturulması

TOPSIS yöntemi, her bir değerlendirme kriterinin artan veya azalan bir fayda eğilimine sahip olduğunu varsaymaktadır. İdeal çözüm setinin oluşturulabilmesi için V matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin en büyükleri seçilmektedir. İlgili değerlendirme kriteri minimizasyon yönlü ise en küçüğü seçilir.  $A^*$  seti için V matrisinin her bir sütunundaki en büyük değer,  $A^-$  seti için V matrisinin her bir sütunundaki en küçük değerler seçilerek oluşturulur. Bunlar Denklem (5) ve Denklem (6)'da sunulmuştur.

$$A^* = \left\{ (\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J') \right\} \quad (5)$$

Yukarıda bulunacak set  $A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$  şeklinde gösterilebilir. Negatif ideal çözüm seti ise, V matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme kriterlerinin yani sütun değerlerinin en küçükleri seçilmektedir. İlgili değerlendirme kriteri maksimizasyon yönlü ise en büyüğü seçilerek oluşturulur. Negatif ideal çözüm setinin bulunması aşağıdaki formülde gösterilmiştir.

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J') \right\} \quad (6)$$

Yukarıda hesaplanacak set  $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$  şeklinde gösterilebilir. Her iki formülde de J fayda (maksimizasyon), J' ise kayıp (minimizasyon) değerini göstermektedir. Gerek ideal gerekse negatif ideal çözüm seti, değerlendirme kriteri sayısı yani m elemandan oluşmaktadır.

### 3.3.5. Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması

TOPSIS yönteminde her bir karar noktasına ilişkin değerlendirme kriteri değerinin ideal ve negatif ideal çözüm setinden sapmalarının bulunabilmesi için Euclidian uzaklık yaklaşımından yararlanılmaktadır. Buradan elde edilen karar noktalarına ilişkin sapma değerleri ise İdeal Ayırım ( $S_i^*$ ) ve Negatif İdeal Ayırım ( $S_i^-$ ) Ölçüsü olarak adlandırılmaktadır.

İdeal ayırım ( $S_i^*$ ) ölçüsünün hesaplanması Denklem (7), negatif ideal ayırım ( $S_i^-$ ) ölçüsünün hesaplanması Denklem (8)'de gösterilmiştir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (7)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (8)$$

Burada hesaplanacak  $S_i^*$  ve  $S_i^-$  sayısı doğal olarak karar noktası (alternatif) sayısı kadar olacaktır.

### 3.3.6. İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması

İdeal ve negatif ideal ayırım ölçüleri, her bir karar noktasının (alternatifin) ideal çözüme göreli yakınlığının ( $C_i^*$ ) hesaplanmasında kullanılır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. İdeal çözüme göreli yakınlık değeri Denklem (9)'da belirtilmiştir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (9)$$

Burada  $C_i^*$  değeri aralığında değer alır ve ilgili karar noktasının ideal çözüme, ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

### 3.4. TOPSIS Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

TOPSIS yöntemi ELECTRE yönteminin temeline göre geliştirilmiştir. Yöntemde her bir alternatifin kendi değerini alması prensimi mevcuttur. Burada, kriterlerin kendi aralarında farklar da olsa, alternatifler arasındaki farklılıklar değerlendirilerek ideal bir sonuç elde edilir. Uygulaması ve grafiksel olarak kolay görülebilir karar verme yöntemidir.

## 4. Uygulama

### 4.1. Otomobil Seçiminde TOPSIS Uygulaması

Yaptığımız çalışmada, bir tüketicinin en uygun C segment otomobili alabilmesi için bazı aşamaları dikkate alması tavsiye edilmiştir:

- Karar verici yani tüketici tarafından bütçe ve beğenisine uygun otomobiller belirlenir,
- Seçilen otomobiller için TOPSIS uygulaması yapılır,
- Tüketicinin subjektif değerlerine ilişkin uygun çözümler dikkate alınıp en ideal otomobil belirlenir.

Uygulamayı oluşturmak için otomobil satın almak isteyen bir tüketici yani karar verici belirlenmiştir. Tüketicinin belirttiği fiyat aralıklarında (300.000 - 380.000TL) beğendiği otomobil modelleri Tablo 2'de verilmiştir.

Otomobil seçiminde göz önünde bulundurulması gereken kriterler; fiyat, ikinci el fiyatı, yakıt tüketimi, 0-100 km'de hızlanması, konfor, güvenlik, bakım maliyeti, genişlik ve sevgi derecesi olarak belirlenmiştir.

Tablo 2: Otomobil Modelleri

No	Modeller
1	Opel Astra 1.5 Edition
2	Renault Megane Touch 1.3 TCe
3	Ford Focus Trend X 1.5 EcoBlue
4	Volkswagen Golf 1.0 eTSI 110 PS DSG
5	Toyota Corolla Hybrid X-Pack CVT
6	Fiat Egea Hatchback Lounge 1.6
7	Peugeot 308 Style Tech 1.5 BlueHDi

Yapılan çalışmada; fiyat, ikinci el fiyatı, yakıt tüketimi, 0-100 km hızlanma ve genişlik kriterleri için veriler ilgili markaların modellerine web sitelerine bakılarak elde edilmiştir. Bakım maliyeti, güvenlik ve konfor kriterleri için veriler, bu konuları bilen bir uzman tarafından 1-6 aralığında puanlama tekniği ile elde edilmiştir. Sevgi değeri kriteri için verilere 1-9 ölçekli önem dereceleri sorularak tüketicinin verdiği subjektif değerlendirme ile ulaşılmıştır. Seçim yapacak tüketici için otomobil seçiminde en etkili kriterin güvenlik olduğu görülmektedir. Daha sonra sırasıyla yakıt tüketimi, fiyatı ve sevgi derecesi kriterleri gibi kriterler yer almaktadır (Tablo 3).

Tablo 3: Kriterlerin önem değerleri (ağırlıkları)

Kriterler	Ağırlıklı Puanlar
Fiyat	0,165
2.El Fiyat	0,058
Yakıt Tüketimi	0,227
0-100 Km Hızlanma	0,030
Konfor	0,037
Güvenlik	0,237
Bakım Maliyeti	0,018
MTV Bedeli	0,064
Sevgi Derecesi	0,164

Ülkemizde döviz kurlarında yaşanan olumsuz gelişmelerden dolayı sıfır araç alımında düşüş yaşanmıştır. Bankaların kredi kampanyaları ya da markaların sene sonlarında yaptığı kampanyalar bir nebze de olsa bu pazara hareket kattığı görülmektedir. Otomobil fiyatları kura bağlı artış sağlamaktadır. Fiyatı en yüksek otomobil daha az tercih edilecektir. Otomobil fiyatındaki artış seçim yaparken negatif etki yapmaktadır. Bu yüzden fiyatı minimum olan seçilecektir. Tablo 4'te seçilen otomobiller için fiyat, normalize ve ağırlıklı hali bulunmaktadır.

İkinci el otomobil alımlarında ve satışlarında en önemli öncelik ciddi bir kazancın olmamasıdır. İkinci el otomobil alırken aracın geçmişte yaptığı kazalara, değişen ya da bpyalı parçasının olup olmadığına bakılır. Kilometresinin düşük ve model yılının yeni olması, bakımlarının zamanında ve yetkili servis aracılığı ile yapılması da diğer kriterlerdir. Bir yıl içinde planladığımız kilometre miktarı seçim yaparken dizel ya da benzin motor tercihimizi de etkilemektedir. Tüketiciler aracın geçmiş hikayesini bilmediği için ikinci el araç alımı risk taşımaktadır. Bazen hasar sorgulamada, hasar tutarı düşük de gözükse yetkili serviste yapılmadığı için gerçek tutar gözükmemektedir, bu da tüketiciyi yanıltmaktadır. Hava yastıklarının açıldığı, ağır hasar kayıtlı ya da takla atan otomobiller ileride ciddi masraflar çıkardığı için tercih edilmezler.



Tablo 4: Fiyat Kriteri

Modeller	Fiyat	Normalize Hali	Ağırlıklı
Opel Astra 1.5 Edition	329.900TL	0,363	0,0599
Renault Megane Touch 1.3 TCe	356.000TL	0,392	0,0646
Ford Focus Trend X 1.5 EcoBlue	356.200TL	0,392	0,0647
Volkswagen Golf 1.0 eTSI 110 PS DSG	361.000TL	0,397	0,0655
Toyota Corolla Hybrid X-Pack CVT	379.450TL	0,418	0,0689
Fiat Egea Hatchback Lounge 1.6	305.900TL	0,337	0,0555
Peugeot 308 Style Tech 1.5 BlueHDi	309.000TL	0,340	0,0561

İkinci el fiyatını belirlemek için maksimum üç yaşında, 100.000 kilometreyi geçmemiş araçlar online satış sitelerinden yardım alınarak tespit edilmiştir. İkinci el fiyatı kriteri için fiyat, normalize ve ağırlıklı hali Tablo 5'te belirtilmiştir.

Tablo 5: 2. El Fiyatları Kriteri

Modeller	Fiyat	Normalize Hali	Ağırlıklı
Opel Astra 1.5 Edition	266.500TL	0,372	0,0216
Renault Megane Touch 1.3 TCe	236.000TL	0,330	0,0191
Ford Focus Trend X 1.5 EcoBlue	285.000TL	0,398	0,0231
Volkswagen Golf 1.0 eTSI 110 PS DSG	311.000TL	0,434	0,0252
Toyota Corolla Hybrid X-Pack CVT	290.000TL	0,405	0,0235
Fiat Egea Hatchback Lounge 1.6	235.000TL	0,328	0,0190
Peugeot 308 Style Tech 1.5 BlueHDi	262.000TL	0,366	0,0212

Yeni nesil otomobiller daha düşük ve daha hafif yakıt tüketimine sahiptir. Bu otomobillerde emisyon oranları düşüktür. Bu sebepten ötürü yeni nesil araçların çevreyi daha az kirlettikleri tespit edilmiştir. Kullanılan malzemeler ve üretim yöntemleri sebebiyle yüksek seviyede gövde yapısına sahipken ağırlıkları düşmüştür. Böylece yol tutuş özellikleri artmış ve yakıt tüketimi azalmıştır. Gelişmiş otomatik ve manuel şanzıman sistemleri ile düşük hacimde ve yüksek verim ile çalışan turbo destekli yeni nesil motorlar ile daha az yakıt tüketip daha yüksek performans elde edilmektedir. Yakıt tüketimi kriteri için hesaplamalar Tablo 6'da verilmiştir. Yakıt tüketimindeki artış otomobilin seçiminde negatif etki yapmaktadır. Otomobillerin yakıt tüketimi markaların web sitelerinden seçili aracın özelliklerine bakılarak bulunmuştur. Bu çalışmada 1 Haziran 2021 yılı akaryakıt fiyatları değerlendirmeye alınmıştır.

Tablo 6: Yakıt Tüketimi Maliyet Kriteri

Modeller	Yakıt Tük.(Lt/100 km)	Yakıtın Fiyatı (TL/Lt)	Yakıtın Mal.	Norm	Ağırlıklı
Opel Astra 1.5 Edition	5,7lt	7,20 TL	41,040	0,405	0,0918
Renault Megane Touch 1.3 TCe	7,0lt	7,72 TL	54,040	0,533	0,1209
Ford Focus Trend X 1.5 EcoBlue	4,9lt	7,20 TL	35,280	0,348	0,0790
Volkswagen Golf 1.0 eTSI 110 PS DSG	5,4lt	7,72 TL	41,680	0,411	0,0933
Toyota Corolla Hybrid X-Pack CVT	3,3lt	7,72 TL	25,470	0,251	0,0570
Fiat Egea Hatchback Lounge 1.6	4,5lt	7,20 TL	32,400	0,319	0,0725
Peugeot 308 Style Tech 1.5 BlueHDi	4,4lt	7,20 TL	31,680	0,312	0,0709

0-100 km hızlanma süreleri bir otomobilin ataklığını ve performansını gösterir. Daha kısa sürede 100 kilometreyi gören araç diğerlerine göre daha idealdir. Bu sebeple saniye cinsinde verilen değerlerden minimum olan en ideal seçenektir. Seçilen araçların saniye cinsinden hızlanma süreleri, normalize ve ağırlıklı hali Tablo 7'de belirtilmiştir.

Tablo 7: 0-100 Km Hızlanma Kriteri

Modeller	0-100 Km Hızlanma(sn)	Normalize Hali	Ağırlıklı
Opel Astra 1.5 Edition	10,6 sn.	0,403	0,0121
Renault Megane Touch 1.3 TCe	9,0 sn.	0,342	0,0103
Ford Focus Trend X 1.5 EcoBlue	10,2 sn.	0,387	0,0116
Volkswagen Golf 1.0 eTSI 110 PS DSG	9,9 sn.	0,376	0,0113
Toyota Corolla Hybrid X-Pack CVT	11,00 sn.	0,418	0,0125

Fiat Egea Hatchback Lounge 1.6	9,8 sn.	0,372	0,0112
Peugeot 308 Style Tech 1.5 BlueHDi	9,0 sn.	0,342	0,0103

Konfor kriteri ile ilgili veriler için uzman kişiden yardım alınmıştır. Uzman kişinin seçili otomobillere 1-6 aralığında puanlar vermesi istenilmiş ve elde edilen değerler Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8: Konfor Kriteri

Modeller	Konfor	Normalize Hali	Ağırlıklı
Opel Astra 1.5 Edition	5	0,406	0,0150
Renault Megane Touch 1.3 TCe	5	0,406	0,0150
Ford Focus Trend X 1.5 EcoBlue	5	0,406	0,0150
Volkswagen Golf 1.0 eTSI 110 PS DSG	6	0,487*	0,0180
Toyota Corolla Hybrid X-Pack CVT	4	0,324	0,0120
Fiat Egea Hatchback Lounge 1.6	3	0,243	0,0090
Peugeot 308 Style Tech 1.5 BlueHDi	4	0,324	0,120

Günümüzde B ve C segment yeni araçların çoğunda geniş ekran, multimedya sistemleri, otomatik Start&Stop sistemi, ABS, ESP, statik dönüş farları gibi gelişmiş güvenlik donanımları bulunmaktadır. Güvenlik kriterinin değerlerinin belirlenmede uzman kişiden destek alınmıştır. Tablo 9’da belirttiği gibi uzman kişi, hava yastıkları, geçmiş deneyimler, ABS sistemi, yakıt deposu, otomobilin parçaları, emniyet kemeri gibi özellikleri dikkate alarak 1-6 aralığında puanlama yapmıştır.

Tablo 9: Güvenlik Kriteri

Modeller	Güvenlik	Normalize Hali	Ağırlıklı
Opel Astra 1.5 Edition	3	0,300	0,0711
Renault Megane Touch 1.3 TCe	3	0,300	0,0711
Ford Focus Trend X 1.5 EcoBlue	4	0,400	0,0948
Volkswagen Golf 1.0 eTSI 110 PS DSG	4	0,400	0,0948
Toyota Corolla Hybrid X-Pack CVT	5	0,500	0,1185
Fiat Egea Hatchback Lounge 1.6	3	0,300	0,0711
Peugeot 308 Style Tech 1.5 BlueHDi	4	0,400	0,0948

Güvenlik kriteri otomobil seçiminde pozitif etkide bulunduğu için maksimum değerler işleme alınmaktadır. Bakım maliyeti kriteri ile ilgili hesaplamalar Tablo 10’da verilmiştir. Bu kriterin değerlendirilmesiyle ilgili uzman kişiden yardım alınmıştır. Otomobil modellerinin parça maliyetleri ve yıl içinde yapılan servis hizmetlerinin ortalama maliyetlerine göz önüne alınarak 1-6 aralığında puanlama sistemi kullanılıp değerlendirme yapılmıştır. Bakım maliyeti kriterinde de en yüksek maliyet en az tercih edileceği için minimum değer ideal olarak hesaplanmıştır.

Tablo 10: Bakım Maliyeti Kriteri

Modeller	Bakım Maliyeti	Normalize Hali	Ağırlıklı
Opel Astra 1.5 Edition	5	0,445	0,0080
Renault Megane Touch 1.3 TCe	2	0,178	0,0032
Ford Focus Trend X 1.5 EcoBlue	5	0,445	0,0080
Volkswagen Golf 1.0 eTSI 110 PS DSG	6	0,535	0,0096
Toyota Corolla Hybrid X-Pack CVT	4	0,356	0,0064
Fiat Egea Hatchback Lounge 1.6	2	0,178	0,0032
Peugeot 308 Style Tech 1.5 BlueHDi	4	0,356	0,0064

Motorlu taşıtlar vergisi (MTV) kriterine ilişkin veriler yıllık vergi tutarı, normalize ve ağırlıklı hali Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11: MTV Kriteri

Modeller	Vergi	Normalize Hali	Ağırlıklı
Opel Astra 1.5 Edition	2.197	0,344	0,0220
Renault Megane Touch 1.3 TCe	2.197	0,344	0,0220
Ford Focus Trend X 1.5 EcoBlue	2.197	0,344	0,0220
Volkswagen Golf 1.0 eTSI 110 PS DSG	1.261	0,197	0,0126
Toyota Corolla Hybrid X-Pack CVT	3.881	0,608	0,0389
Fiat Egea Hatchback Lounge 1.6	2.197	0,344	0,0220
Peugeot 308 Style Tech 1.5 BlueHDi	2.197	0,344	0,0220

Bu değerler tüketicinin otomobil seçimine olumsuz etki etmektedir. Otomobilin motor hacmi arttıkça MTV fiyatı arttığı için ülkemizde genel olarak küçük motorlu araçlar tercih edilmektedir. Aracın kayıt tarihi 1 Ocak 2018 tarihinden önce ise otomobilin motor hacmi ve yaşına göre MTV hesaplaması yapılır. 1 Ocak 2018 tarihi ve sonrasında trafiğe tescili yapılan otomobillerde, motor hacmi ve aracın değerine göre MTV hesaplaması yapılmaktadır.

Yenilenen teknoloji ile elektrikli araçlar da üretilmeye başlandı, fakat henüz şarj yerlerinin kısıtlı olması bu araçlara olan seçme kriterini negatif etkilemektedir. İlerleyen dönemlerde dizel ya da benzinli araç yerine hibrit veya elektrikli araçlarda gözde konuma gelecektir. Seçilen otomobiller için tüketicinin beğenisini belirleyen sevgi ölçütü kriteri de göz önüne alınmıştır. Tüketicinin

markaya ya da modele olan sevgisi sübjektiftir. Zamanla değişebilmektedir, yeni model otomobil piyasaya sunulduğunda sevgi kriteri de değişebilmektedir. Elde edilen verilen karar vericinin 1-9 ölçeğini kullanarak otomobiller için verdiği değerlerden elde edilmiştir. Modellere bağlı sevgi ölçütü, normalize ve ağırlıklı hali Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12: Sevgi Derecesi

Modeller	Sevgi	Normalize Hali	Ağırlıklı
Opel Astra 1.5 Edition	8	0,415	0,0680
Renault Megane Touch 1.3 TCe	5	0,259	0,0425
Ford Focus Trend X 1.5 EcoBlue	8	0,415	0,0680
Volkswagen Golf 1.0 eTSI 110 PS DSG	9	0,467	0,0765
Toyota Corolla Hybrid X-Pack CVT	8	0,415	0,0680
Fiat Egea Hatchback Lounge 1.6	5	0,259	0,0425
Peugeot 308 Style Tech 1.5 BlueHDi	7	0,363	0,0595

Pozitif ideal çözüm setinin (A+) oluşturabilmek için için v matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme kriterinin en büyüğü seçilmelidir. Belirlenen değerlendirme kriteri minimizasyon yönlü ise en küçük olan seçilmelidir. Pozitif ve negati ideal çözümler Tablo 13- 16’da verilmiştir.

Negatif ideal çözüm setini oluşturabilmek için (A-) ise, v matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme kriterlerinin en küçüğü seçilir. Değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise en büyüğü seçilerek oluşturulur.

Tablo 13: Pozitif İdeal Çözüm

	Fiyat	2.El Fiyat	Yakıt Tüketimi	0-100km hızlanma	Konfor	Güvenlik	Bakım Maliyeti	Vergi	Sevgi
A*	Min.	Max.	Min.	Min.	Max.	Max.	Min.	Min.	Max.
	0,0555	0,0252	0,0570	0,0103	0,0180	0,1185	0,0032	0,0126	0,765

Tablo 14: Negatif İdeal Çözüm

	Fiyat	2.El Fiyat	Yakıt Tüketimi	0-100km hızlanma	Konfor	Güvenlik	Bakım Maliyeti	Vergi	Sevgi
A-	Max.	Min.	Max.	Max.	Min.	Min.	Max.	Max.	Min.
	0,0689	0,0190	0,1209	0,0125	0,0090	0,0711	0,0096	0,0389	0,0425

Tablo 15: En İyi Pozitif Çözüme Alternatif Uzaklık

S*										
A1	0,0019	0,0013	0,1214	0,0003	0,0009	0,2247	0,0023	0,0088	0,0072	
A2	0,0083	0,0037	0,4088	0,0000	0,0009	0,2247	0,0000	0,0088	0,1157	
A3	0,0083	0,0004	0,0482	0,0002	0,0009	0,0562	0,0023	0,0088	0,0072	
A4	0,0100	0,0000	0,1316	0,0001	0,0000	0,0562	0,0041	0,0000	0,0000	
A5	0,0178	0,0003	0,0000	0,0005	0,0036	0,0000	0,0010	0,0689	0,0072	
A6	0,0000	0,0038	0,0241	0,0001	0,0081	0,2247	0,0000	0,0088	0,1157	
A7	0,0000	0,0016	0,0193	0,0000	0,0036	0,0562	0,0010	0,0088	0,0289	

Tablo 16: En İyi Negatif Çözüme Alternatif Uzaklık

S-										
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

<b>A1</b>	0,0081	0,0007	0,0846	0,0000	0,0036	0,0000	0,0003	0,0285	0,0651
<b>A2</b>	0,0018	0,0000	0,0000	0,0005	0,0036	0,0000	0,0041	0,0285	0,0000
<b>A3</b>	0,0018	0,0016	0,1763	0,0001	0,0036	0,0562	0,0003	0,0285	0,0651
<b>A4</b>	0,0011	0,0038	0,0765	0,0002	0,0081	0,0562	0,0000	0,0689	0,1157
<b>A5</b>	0,0000	0,0020	0,4088	0,0000	0,0009	0,2247	0,0010	0,0000	0,0651
<b>A6</b>	0,0178	0,0000	0,2345	0,0002	0,0000	0,0000	0,0041	0,0285	0,0000
<b>A7</b>	0,0164	0,0005	0,2504	0,0005	0,0009	0,0562	0,0010	0,0285	0,0289

İdeal çözüme yakınlık Tablo 17’de verilmiştir. Bu adımda, Ci\* değerlerine göre alternatifler en yüksekte en düşüğe göre sıralanarak tercihler yapılmaktadır. Belirlenen kriterlerin ağırlıklarını göre en optimal seçenek bulunur. Son olarak en uygun alternatifin sıralaması belirlenerek Tablo 18’de gösterilmiştir.

Tablo 18 incelendiğinde, Toyota Corolla Hybrid X-Pack CVT ilk sırada yer almaktadır. Sonrasında sırasıyla Peugeot 308 Style Tech 1.5 BlueHDi, Ford Focus Trend X 1.5 EcoBlue, Volkswagen Golf 1.0 eTSI 110 PS DSG, Fiat Egea Hatchback Lounge 1.6, Opel Astra 1.5 Edition ve Renault Megane Touch 1.3 TCe gelmektedir.

Tablo 17: İdeal Çözüme Göre Yakınlık

	<b>Si*</b>		<b>Si-</b>		<b>Ci</b>
<b>A1</b>	0,6073	<b>A1</b>	0,4368	<b>A1</b>	0,4183
<b>A2</b>	0,8780	<b>A2</b>	0,1963	<b>A2</b>	0,1827
<b>A3</b>	0,3641	<b>A3</b>	0,5774	<b>A3</b>	0,6132
<b>A4</b>	0,4494	<b>A4</b>	0,5749	<b>A4</b>	0,5612
<b>A5</b>	0,3153	<b>A5</b>	0,8381	<b>A5</b>	0,7266
<b>A6</b>	0,6206	<b>A6</b>	0,5340	<b>A6</b>	0,4625
<b>A7</b>	0,3456	<b>A7</b>	0,6191	<b>A7</b>	0,6417

Tablo 18: Otomobil Seçimi TOPSIS Sıralaması

<b>Sıra</b>	<b>Alternatifler</b>
1	Toyota Corolla Hybrid X-Pack CVT
2	Peugeot 308 Style Tech 1.5 BlueHDi
3	Ford Focus Trend X 1.5 EcoBlue
4	Volkswagen Golf 1.0 eTSI 110 PS DSG
5	Fiat Egea Hatchback Lounge 1.6
6	Opel Astra 1.5 Edition
7	Renault Megane Touch 1.3 TCe

## 5. Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Günümüzde otomobil almak artık lüks bir tüketim değil ihtiyaç haline gelmiştir. Otomotiv sektöründe artan rekabet ve yenilikler bir araç satın alınırken bakılması gereken kriterleri de çoğaltmıştır. Çok sayıda modelin ve kriterlerin bulunduğu bu durumda tüketiciler otomobil alırken seçim yapmakta zorlanabilirler. Bu çalışmada, otomobil seçim probleminde TOPSIS yöntemi ile bir çözüm önerisi sunulmuştur. Öncelikle otomobil satın almak isteyen bir tüketici belirlenmiş, tüketicinin belirlediği alternatifler üzerinde uygulama yapılmış ve elde edilen sonuçlardan tüketicinin memnun kaldığı ve karar verirken bu sonuçları kullandığı görülmüştür. Otomobil seçerken karar verme problemlerinde TOPSIS yöntemi uygulanabilirliği kolay bir çözüm yaklaşımıdır.

Her tüketicinin önem derecesi farklı olabilir. Bazı tüketiciler için fiyat kriteri daha önemli iken bazıları için motor hacmi yada yakıt tüketimi daha önemli olabilir. Büyük aileler için sedan, station wagon ya da SUV gövde tipine sahip araçlar tercih edilir. İç hacim ve bagaj büyüklüğü aile araçları için ağırlığı en yüksek kriter

olabilir. Seçme işlemi her tüketicinin kendi beğenisine ve isteğine göre yapılır. Bu sebeple her tüketici için seçim kriterlerinin ağırlıkları farklı olabilir. Her seçenek farklı kriterlere oranla daha ideal olabilir. Kriterlere bakılarak bazıları minimize bazıları maksimize edilir.

Tüketicinin belirlediği markaların C segment otomobilleri, fiyatı, MTV, güvenlik, 2.el fiyatı, 0-100km hızlanma, yakıt tüketimi konfor, bakım maliyeti ve sevgi ölçüsü kriterleri ele alınarak değerlendirilmiş ve TOPSIS yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Seçilen yedi otomobil modelini, dokuz ayrı kritere göre değerlendirip, tüketicinin yani karar vericinin en iyi seçeneğe ulaşması sağlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde en uygun otomobil sıralamasında Toyota Corolla Hybrid X-Pack CVT ilk sırada yer aldığı ve sırasıyla Peugeot 308 Style Tech 1.5 BlueHDi, Ford Focus Trend X 1.5 EcoBlue’nun takip ettiği görülmektedir.

Günümüzde otomobil alış-satışları üzerine kurulan pek çok web sitesi mevcuttur. Çalışmada uyguladığımız TOPSIS yöntemini sitelere bir araç olarak eklenirse kullanıcılar, araç seçiminde tercih kriterlerinin belirleyerek daha etkili aramalar yapabilirler.



Böylece otomobil satın almak isteyenlere ideal bir hizmet sunmuş olurlar.

Araştırma sürecinde bazı sınırlandırmalarla karşılaşmıştır. Nihai sonuçların karar vericinin görüşlerini yansıttığı ve ideal durumların karar vericiye bağlı değişebilir olduğu belirlenen sonuçlarda oluşabilecek sapmalar çalışmada dikkate alınmamıştır. Bu durumun etkisini ortadan kaldırabilmek ve gelecek çalışmalar için ya daha fazla uzmanın görüşünden faydalanmak gerekmekte ya da diğer ÇKKV yöntemlerinden küresel bulanık TOPSIS yöntemi ile karşılaştırmalı analiz yapılması hedeflenmektedir.

## 6. Teşekkür

Projenin hazırlanmasında katkılarıyla yol gösterici olan ve analiz aşamasında görüşlerinden faydalandığımız uzman sayın Bahadır ÇOKYAŞAR'a ve otomotiv sektöründe engin bilgisiyle değerli görüşünü bizimle paylaşan sayın Çağrı ADIMUTLU'ya teşekkürlerimizi sunarız.

## Kaynakça

- Alp, S. ve Engin, T. (2011). Trafik Kazalarının Nedenleri ve Sonuçları Arasındaki İlişkinin TOPSIS ve AHP Yöntemleri Kullanılarak Analizi ve Değerlendirilmesi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19:65-87.
- Aslay, F. (2021). TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Güneş Enerjisi Sistemlerinde Panel Seçimi, *European Journal of Science and Technology*, Special Issue 28, 548-551.
- Atmaca, M. (2012), İMKB'de İşlem Gören Spor Şirketlerinin TOPSIS Yöntemi İle Finansal Performans Değerlendirmesi, *İktisat, İşletme ve Finans Dergisi*, Sayı: 27(320), 91-108.
- Belbağ, S., Deveci, M. ve Uludağ, A.S. (2013). Comparison of two fuzzy multi criteria decision methods for potential airport location selection. *International Conference on Operations Research and Enterprise Systems*, 122-128.
- Boran, F. (2009), *Personel Seçimi Probleminde Sezgisel Bulanık Küme Uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Boran, F. E. (2011) An integrated intuitionistic fuzzy multi criteria decision making method for facility location selection, *Mathematical and Computational Applications*, 16(2) 487-496.
- Boran, F. E., Boran, K. ve Menlik, T. (2012). The evaluation of renewable energy technologies for electricity generation in Turkey using intuitionistic fuzzy TOPSIS, *Energy Sources*, 7(1) 81-90.
- Büyükoçkan, G. ve Güleriyüz, S. (2016). A new integrated intuitionistic fuzzy group decision making approach, for product development partner selection, *Computers & Industrial Engineering* 102, 383-395.
- Bulak, M. E., Kozanoğlu, O., Aydoğduoğlu, Ş. N., Göçer, F., ve Algül, R. (2021). E-Ticaret Sitelerinin Kullanılabilirliğinin AHP ve TOPSIS Yöntemleriyle Karşılaştırılması, *European Journal of Science and Technology*, (26), 493-509.
- Çaylak, M. (2019). Topsis yöntemi ile en uygun otel seçimi. *Oğuzhan Sosyal Bilimler Dergisi*, 1 (2), 65-76.
- Chen, T.Y. (2015). The inclusion-based TOPSIS method with interval-valued intuitionistic fuzzy sets for multiple criteria group decision making, *Applied Soft Computing*, 26, 57-73.

- Dumanoğlu, S., (2010). İMKB' de İşlem Gören Çimento Şirketlerinin Mali Performansının TOPSIS Yöntemi ile Değerlendirilmesi, *Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F Dergisi*, 19(2):313-339.
- Güleriyüz, S. (2020). Evaluation of Product Development Partner Selection Process Using Multi Criteria Decision Making Approach, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 307-311.
- Hwang, C.L. ve Yoon, K.P. (1981). *Multiple attribute decision-making: Methods and application*, Springer, New York.
- Jain, V., Sangaiah, A., K., Sakhuja, S., Thoduka, N., Aggarwal, R. (2018). Supplier selection using fuzzy AHP and TOPSIS: a case study in the Indian automotive industry, *Neural Computing & Applications*, 29, 555-564.
- Kalınış S.S. ve Eren Ö. (2019). BIST Kurumsal Yönetim Endeksi Kapsamındaki Firmalar Üzerine Bir İnceleme. *Sosyal Bilimler Dergisi/The Journal of Social Sciences*, 6, 39, 261-275.
- Kekilli, E., Cebeci, U. ve Sılay, L. (2021). Selection of VFQ Consultant by Using Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS. *European Journal of Science and Technology*, (24), 262-267.
- Kiraz, A., Canpolat, O., Erkan, E.F., Albayrak, F. (2018). Bütünleşik Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile Stratejik Plan Hedeflerinin Önem Derecelerinin Belirlenmesi, *European Journal of Science and Technology*, 13, 72 – 76.
- Miç, P., Antmen, Z. F. (2019). Bir Bölge Hastanesi için Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Sağlık Hizmeti Tesis Yerleşimi Seçimi Problemi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 750-757.
- Oralhan, B., Büyüktürk, M.A. (2019), Avrupa Birliği Ülkeleri Ve Türkiye'nin İnovasyon Performansının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Kıyaslanması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Sayı 16, 2019, 471 – 484.
- Özkan, G., Deliktaş, E. (2020). Banka Performanslarının Topsis Yöntemiyle Analizi. *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3: 31-40.
- Selimli H. (2019). Finansman, Faktoring ve Leasing Şirketlerinin Kredi Yönetim Performansının TOPSIS Yöntemi ile Değerlendirilmesi: (2015-2018). *Finans, Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4, 3.
- Sharma, N. K., Kumar, V., Verma, P., ve Luthra, S. (2021). Sustainable reverse logistics practices and performance evaluation with fuzzy TOPSIS: A study on Indian retailers. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 1, 10007.
- Su, Z.-X., Chen, M.-Y., Xia, G.-P. ve Wang, L. (2011). An interactive method for dynamic intuitionistic fuzzy multiattribute group decision making, *Expert Systems with Applications*, 38(12) 15286-15295.
- Şahin, Y. ve Akyer, H. (2011). Ülke Kaynaklarının Verimli Kullanımı: 4x4 Arama Ve Kurtarma Aracı Seçiminde AHS Ve TOPSIS Yöntemlerinin Uygulaması, *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 3(5), 72-87.
- Tan, C. (2011). A multi-criteria interval-valued intuitionistic fuzzy group decision making with Choquet integral based TOPSIS, *Expert Systems with Applications*, 38(4),3023-3033.
- Triantaphyllou, E., (2000). *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 3:13.
- Torlak, G., Şevkli, M., Sanal, M. ve Zaim, S. (2011), Analyzing Business Competition By Using Fuzzy TOPSIS Method: An

- Example Of Turkish Domestic Airline Industry, *Expert Systems with Applications*, 38, 3396- 3406.
- Topçu, B. A., ve Oralhan, B. (2017). Türkiye ve OECD Ülkeleri'nin Temel Makroekonomik Göstergeler Açısından Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Karşılaştırılması, *International Journal Of Academic Value Studies (JAVSTUDIES)*, 3, 260-277.
- Yağız, D. (2012). *Hisseleri İmkb'de İşlem Gören Enerji Şirketlerinin 2006-2010 Yıllarına İlişkin Finansal Tablolar Analizi* (Doctoral dissertation), İstanbul Aydın Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Yıldızbaşı, A., Erdebilli, B., Özen, B., Özdemir, Y.S. (2021), Dijital Tedarik Zinciri Yönetiminde Artırılmış Gerçeklik Araçlarının Performans Değerlendirmesi: Bir Grup Karar Verme Yöntemi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23, 149-162.
- Yiğit, M.E. ve Akpınar M.E. (2021). Rüzgar türbin kulesi alternatiflerinin çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23, 386-393.
- Yurdakul, M. ve - İç, Y. (2003), Türk Otomotiv Firmalarının Performans Ölçümü ve Analizine Yönelik Topsıs Yöntemini Kullanan Bir Örnek Çalışma, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18, 1, 1-18.
- Yükçü, S. ve Atağan, G. (2010), "TOPSIS Yöntemine Göre Performans Değerleme", *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, Sayı: 1(45), ss. 28-35.



# Saldırı Tespit Sistemlerinde Topluluk Öğrenme Yöntemlerinin Kıyaslanması

İlyâ Kuş<sup>1\*</sup>, Sinem Bozkurt Keser<sup>2</sup>, Esra Nergis Yolaçan<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5850-949X),

[ilyakus97@gmail.com](mailto:ilyakus97@gmail.com)

<sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8013-6922),

[sbozkurt@ogu.edu.tr](mailto:sbozkurt@ogu.edu.tr)

<sup>3</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0008-1037),

[yolacan@ogu.edu.tr](mailto:yolacan@ogu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi: 16 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi: 10 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.971875)

**ATIF/REFERENCE:** Kuş, İ., Bozkurt Keser, S. & Yolaçan, E. N. (2021). Saldırı Tespit Sistemlerinde Topluluk Öğrenme Yöntemlerinin Kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 725-734.

## Öz

Günümüz bilgi çağında teknolojinin gelişmesi, çeşitli güvenlik açıklarının oluşmasına neden olmuştur. Bu durum kişilere, şirketlere ve devletlere yapılan siber saldırıların da artmasına yol açmıştır. Yapılan saldırıların ve güvenlik açıklarının önlenmesinde ise çeşitli yöntemler, teknikler ve komutlar geliştirilmiştir. Güvenliğin sağlanması için geliştirilen bu yapılar, kullanıcıların kişisel verilerini koruma altına almak ile yükümlüdür. Fakat saldırganlar kullandıkları saldırı yöntemleri ile güvenlik açıklarını yakaladıkları an ilgili ağa saldırmakta ve ağın işlevselliğini etkileyerek performansını düşürmektedir. Bu nedenle, sistemlerin güvenlik altına alınması ve yapılan saldırıların tespiti için Saldırı Tespit Sistemleri geliştirilmiştir. Saldırı Tespit Sistemleri'nde makine öğrenmesi algoritmalarının kullanımı artmaktadır. Bu çalışmada, topluluk öğrenme algoritmalarından Rasgele Orman (Random Forest), CatBoost (*Category Boosting*), XGBoost (*eXtreme Gradient Boosting*) ve LightGBM (*Light Gradient Boosting Machine*) Saldırı Tespit Sistemleri'nde anomali tespitinde yaygın kullanılan NSL- KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümeleri üzerinde tanıtılmış ve kıyaslanmıştır. Doğruluk (*accuracy*), hassasiyet (*precision*), geri çağırma (*recall*), f-ölçütü (*f-measure*) ve eğri altında kalan performans metrikleri kullanılarak algoritmaların performansları hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen deneylerde, her iki veri kümesi içinde en iyi performans değerleri Rasgele Orman algoritması ile elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Saldırı Tespit Sistemleri, Topluluk Öğrenme Algoritmaları, Rasgele Orman, XGBoost, LightGBM, CatBoost

## Comparison of Ensemble Learning Methods in Intrusion Detection Systems

### Abstract

The development of technology in today's information age has led to the formation of various security vulnerabilities. This situation has led to an increase in cyber attacks against individuals, companies and states. Various methods, techniques and commands have been developed to prevent attacks and security vulnerabilities. These structures developed to ensure security are obliged to protect the personal data of users. However, as soon as the attackers detect the security vulnerability with the attack methods what they use, they attack the relevant network and affect the functionality of the network, reducing its performance. Therefore, Intrusion Detection Systems have been developed to secure systems and detect attacks. The use of machine learning algorithms in Intrusion Detection Systems is increasing. In this study, ensemble learning algorithms, Random Forest, CatBoost, XGBoost and LightGBM Intrusion Detection Systems are introduced and compared on NSL-KDD and UNSW-NB<sub>15</sub> datasets, which are widely used in anomaly detection. The performances of the algorithms were calculated using the accuracy, precision, recall, f-measure and area under-curve performance metrics. In the experiments carried out, the best performance values in both datasets were obtained with the Random Forest algorithm.

**Keywords:** Intrusion Detection Systems, Ensemble Learning Algorithms, Random Forest, XGBoost, LightGBM, CatBoost

\* Sorumlu Yazar: [ilyakus97@gmail.com](mailto:ilyakus97@gmail.com)

## 1. Giriş

Teknolojinin her geçen gün gelişmesiyle birlikte bilgi ve bilgisayar güvenliği, güvenlik açıklarından dolayı bazı tehlikeler ile karşı karşıya gelmektedir. Kötü kullanıcıların ve saldırganların yaptıkları ataklar sonucu ağ üzerindeki sistemler izinsiz girişlere maruz kalmaktadır. İzinsiz girişlerin önüne geçebilmek için kullanılan Saldırı Tespit Sistemleri, antivirüsler, web filtreleme çözümleri ve güçlü tanılama yöntemleri gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Saldırı tespit yöntemleri hem sistem içinden hem de sistem dışından oluşabilecek saldırılarının saptanması için önerilmektedir. Güvenlikte oluşan açıklar yüzünden gerçekleşen saldırıların engellenebilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda izinsiz girişlerin tespit edilmesi ve anomalilerin analiz edilmesi için birçok yöntem önerilmiştir (Kasongo ve Sun, 2020).

Son yıllarda, Saldırı Tespit Sistemleri'nde makine öğrenmesi algoritmalarının kullanımı artmaktadır. Bu çalışmada, ağ akış verileri üzerinden topluluk öğrenme algoritmalarının kullanılmasıyla anomalilerin tespitinin yapılması amaçlanmıştır. Saldırı Tespit Sistemleri'nde sıkça kullanılan veri kümelerinden NSL-KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> kullanılmıştır. Kaggle platformundan elde edilen bu veri kümeleri çeşitli saldırı tiplerinden oluşmaktadır. Saldırı Tespit Sistemleri'nde en yaygın kullanılan bu veri kümeleri üzerinde popüler topluluk öğrenme algoritmalarının karşılaştırmalı analizi yapılmaktadır. Rasgele Arama yöntemi kullanılarak algoritmalar için en iyi hiper-parametreler belirlenmektedir. Gerçekleştirilen deneyler ile algoritmalar performans metrikleri üzerinden analiz edilerek her iki veri kümesi içinde en iyi algoritma tespit edilmektedir.

Çalışmanın takip eden bölümünde literatürde Saldırı Tespit Sistemleri alanında yapılan çalışmalar verilmektedir. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan veri kümeleri, makine öğrenimi algoritmaları ve performans metrikleriyle birlikte hiper-parametre optimizasyonu anlatılmaktadır. Deney sonuçları ve karşılaştırmalı analizler dördüncü bölümde verilmektedir. Çalışma, sonuçlar ve gelecek çalışmalar ile sonlandırılmaktadır.

## 2. Literatür Taraması

Son on yılda NSL-KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümeleri kullanılarak çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda kullanılan makine öğrenme algoritmalarının ve çeşitli tekniklerin uygulamaları mevcuttur (Tablo1). Saldırı Tespit Sistemleri için geliştirilen bu uygulamalar ağ veya sistem üzerinde gerçekleştirilecek olan saldırıların tespiti için tasarlanmıştır. Ambusaidi ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen çalışmada sınıflandırma için en uygun özneliği analitik olarak seçen karşılıklı bilgi tabanlı bir algoritmanın önerilmesi bu uygulamalara örnektir (Ambusaidi vd., 2016). Bu algoritma, doğrusal ve doğrusal olmayan bağımlı veri özneliklerini işleyerek ağ saldırı tespitini gerçekleştirmektedir. Önerilen algoritma ile seçilen öznelikler kullanılarak En Küçük Kare Destek Vektör Makinesi Tabanlı Saldırı Tespit Sistemi (LSSVM-IDS, *Least Square Support Vector Machine Based Intrusion Detection System*) oluşturulmuştur. Oluşturulan sistemin performansı için NSL-KDD, KDD Cup99 ve Kyoto 2006+ veri kümeleri kullanılmıştır. Bamakan ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada ise Çok Ölçütlü Doğrusal Programlama (MCLP, *Multiple Criteria Linear Programming*) için hiper-parametre

optimizasyonu ve öznelik seçimi sistemin performansını iyileştirmek için uygulanmaktadır (Bamakan vd., 2016). Bunun için yeni bir uyarlanabilir Zamanla Değişen Kaos Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (TVCPSO, *Time Varying Chaos Particle Swarm Optimization*) kullanılarak bir saldırı tespit sistemi önerilmiştir. Önerilen yöntemin performansını ölçmek için KDDCup99 ve NSL-KDD veri setleri kullanılmıştır. Ashfaq ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise Saldırı Tespit Sistemleri'nde kullanılan sınıflandırıcıların performansını iyileştirmek amaçlanmıştır (Ashfaq vd., 2016). Denetimli makine öğrenme algoritmaları ile desteklenen etiketsiz örnekler kullanılarak bulanık tabanlı ve yarı denetimli öğrenme yaklaşımı önerilmiştir. Yarı denetimli öğrenme denetimli ve denetimsiz makine öğrenme tekniklerinin bir birleşimidir. Etiketlenmiş örneklerle birlikte etiketlenmemiş örnekleri ele alan sınıflandırıcı ile daha yüksek performans değerleri elde edilmiştir. Abuomman ve Reaz tarafından yapılan çalışmada ise saldırı tespitine en uygun Destek Vektör Makinesi (SVM, *Support Vector Machine*) modelini bulmak amaçlanmıştır (Abuomman ve Reaz, 2017). Karşılaştırılan yöntemler sırasıyla Kalanlara Karşı-SVM (OAR-SVM, *One Against Rest SVM*), Yönlendirilmiş Asiklik Grafik-SVM (DAG-SVM, *Directed Acyclic Graph SVM*), Uyarlanabilir Yönlendirilmiş Asiklik Grafik-SVM (ADAG-SVM, *Adaptive Directed Acyclic Graph SVM*) ve Hata Düzeltme Kodu Çıktısı-SVM (ECOC-SVM, *Error Correcting Output Code SVM*)'dir. Sınıflandırma performansını iyileştirmek için Kalanlara Karşı Ağırlıklı-SVM (WOAR-SVM, *Weighted One Against Rest SVM*)'ye dayalı yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen bu model ile meta sezgisel olarak oluşturulmuş ağırlıklar kullanarak sistemdeki anomali durumları tespit edilmiştir. Bostani ve Sheikhan tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Saldırı Tespit Sistemleri'nde kullanılan ve makine öğrenme algoritmalarının bazı sınırlamalarının üstesinden gelebilen grafik tabanlı bir makine öğrenme algoritması olan Optimum-Yol Ormanı (OPF, *Optimum Path Forest*) önerilmiştir. Önerilen algoritmanın performansının iyileştirilmesi için Çok Amaçlı Optimal Hibrit Güç Akışı (MOPF, *Multi-objective Optimal Hybrid Power Flow*) algoritması kullanılarak izinsiz giriş tespitinde yeni bir yaklaşım önerilmiştir (Bostani ve Sheikhan, 2017). NSL-KDD veri kümesi üzerinde önerilen modelin performansını değerlendirmek için Gelişmiş OPF+Bölümleme (AOPF+P, *Advanced OPF+Partitioning*), Gelişmiş OPF+Budama (AOPF+Pr, *Advanced OPF+Pruning*) ve Optimum Yol Ormanının Değiştirilmiş Versiyonu (MOPF, *modified version of optimum-path forest*) ile OPF'nin karşılaştırılması yapılmış ve önerilen model ile daha yüksek performans değerlerinin elde edildiği tespit edilmiştir. Primartha ve Taha tarafından yapılan çalışmada ise Rasgele Orman algoritması, üç farklı veri kümesi (NSL-KDD, UNSW-NB<sub>15</sub> ve GPRS) üzerinde analiz edilmiştir (Primartha ve Taha, 2017). Taha ve Rhee tarafından yapılan çalışmada ise anomali tespitinde Gradyan Arttırılmış Makine (GBM, *Gradient Boosted Machine*) algoritması, Rasgele Orman, Derin Sinir Ağı (DNN, *Deep Neural Network*), SVM ve Regresyon Ağacı sınıflandırıcıları ile karşılaştırılmıştır (Taha ve Rhee, 2019). Deneylerde, NSL-KDD, UNSW-NB<sub>15</sub> ve GPRS veri kümeleri üzerinde on kat çapraz doğrulama kullanılarak algoritmalar analiz edilmiştir. En yüksek performans değerlerine GBM algoritması (%93.64 doğruluk) ile ulaşılmıştır. Kamarudin ve diğerleri tarafından bilinen ve bilinmeyen web saldırılarının tespit edilmesi için LogitBoost algoritması önerilmiştir (Kamarudin vd., 2017). HTTP protokolü üzerinden çalıştırılan web saldırılarını tanıyan ve topluluk tabanlı bir sınıflandırma yaklaşımı kullanan bir saldırı tespit sistemi oluşturulmuştur.



Tablo 1. Literatürde İncelenen Çalışmaların Karşılaştırılması

Çalışma	Veri Setleri	Yöntem	Platform	Performans Ölçütleri	Değerlendirme Sonuçları
Ambasadi vd. (2016)	KDD Cup 99, NSL-KDD ve Kyoto 2006+	LSSVM-IDS, HFSA (önerilen özellik seçim algoritması)	-	ACC, DR, FPR, PRE, REC ve FSC	NSL-KDD: ACC: %99.91, FPR: %0.28, DR: %98.76 KDD Cup: ACC: %99.79, FPR: %0.13, DR: %99.46 Kyoto 2006+: ACC: %99.77, FPR: %0.13, DR: %99.64
Bamakan vd. (2016)	KDDcup99 ve NSL-KDD	MCLP / SVM sınıflandırıcısı	Matlab 2013	ACC, High DT, Low FPR	Öznitelik seçimi olmadan: TVCPSO-MCLP, ACC: %94.69, DT: %95.19, FPR: %4.81, TVCPSO-SVM ACC: %95.75 DT: %95.49 FPR: %3.29 Öznitelik seçimi olduğunda: TVCPSO-MCLP ACC: %96.88 DT: %97.23 FPR: %2.41, TVCPSO-SVM ACC: %97.84 DT: %97.03 FPR: %0.87
Ashfaq vd. (2017)	NSL-KDD	MLP, J48, Naive Bayes, Rasgele Orman, SVM ve önerilen algoritma	-	Farklı başlatma aralıklarının genel performans üzerindeki etkisinin testi	KDDTest+ ve KDDTest-21 veri setleri sırasıyla %82.41 ve %67.02 şeklinde başarı elde etmişken ikinci deneyde sırasıyla %84.12 ve %68.82 şeklinde başarı elde edilmiştir.
Aburomman vd. (2017)	NSL-KDD	OAR-SVM, DAG-SVM, ADAG-SVM, ECOC-SVM ve WOAR-SVM	Matlab 2015b	ACC, FSC	WOAR-SVM: ACC: %80.65, OAR-SVM: ACC: %77.06, OAO-SVM: ACC: %77.53, DAG-SVM: ACC: %68.78, ADAG-SVM: ACC: %64.59, ECOC-SVM: ACC: %76.15
Bostani ve Sheikhan (2017)	NSL-KDD	Önerilen MOPF algoritması	Matlab 2014a	ACC, DT, FAR ve Örnek Başına Maliyet	OPF: ACC: %76.88, AOPF: ACC: %90.53, AOPF+ P: ACC: %91.09, AOPF + Pr: ACC: %90.27, MOPF: ACC: %91.74
Taha ve Rhee (2017)	NSL-KDD, UNSW-NB <sub>15</sub> ve GPRS	GBM, Rasgele Orman, DNN, SVM ve CART	-	ACC, Specificity, Sensitivity, FPR ve AUC	KDDTrain+: ACC: %99.85, FPR: %0.27, KDDTest+: ACC: %91.82, FPR: %4.19, KDDTest-21: ACC: %86.51, FPR: %2.65, UNSW-NB <sub>15</sub> : Tenfold: ACC: %95.08, FPR: %2.97. Hold-out: ACC: %91.31, FPR: %8.60. WEP/WPA: Tenfold cross validation: ACC: %82.6, FPR: %20.7. Hold-out: ACC: %70.8, FPR: %27.4. WPA2: Tenfold: ACC: %92.4, FPR: %2.77. Hold-out: ACC: %85.4, FPR: %0.27
Kamarudin vd. (2017)	NSL-KDD ve UNSW-NB <sub>15</sub>	NB, SVM, MLP, DT, Rasgele Orman, Ada-boost+Rasgele Orman ve Logitboost	MySQL, Weka	ACC, DT ve FAR	Sırasıyla ACC, DR, FAR değerleri: NB: %53.61, %42.73, %19.18, SVM: %87.41, %0.11, %32.55, MLP: %64.86, %53.43, %6.50, J48: %89.68, %88.23, %6.68, RF: %90.11, %89.32, %7.89, Adaboost+RF: %90.27, %89.71, %8.30, Logitboost: %90.33, %89.75, %8.22
Primarta ve Taha (2017)	NSL-KDD, GPRS ve UNSW-NB <sub>15</sub>	Rasgele Orman, Decision Tree	-	ACC ve FAR	UNSW-NB <sub>15</sub> : ACC: %95.5 FAR: %7.22, NSL-KDD: ACC: %99.57 FAR: %7.22, GPRS: ACC: %91.8, FAR: %6.35
Divekar vd. (2018)	UNSW-NB <sub>15</sub> , NSL-KDD, KDD Cup 99	Parametre Optimizasyonu, Rasgele Orman, NB, DT, NN, K-means, SVM	Python	FSC, Boş Hata Oranı	F değerlerinin çıktısı gösterilmemiştir. Sadece saldırıların f- ölçütü ile sayısı belirtilmiştir.
Yang vd. (2019)	NSL-KDD ve UNSW-NB <sub>15</sub>	ICVAE-DNN (önerilen model)	Tensorflow	PRE, DR, FPR, REC, ACC, FSC.	KDDTest+: ACC: %85.97, DR: %77.43, FPR: %2.74, KDDTest-21: ACC: %75.43, DR: %72.86, FPR: %12.96, UNSW-NB <sub>15</sub> : ACC: %89.08, DR: %95.68, FPR: %9.01
Chu vd. (2019)	NSL-KDD	SVM, Naive Bayes, Decision Tree, MLP	Weka	Tanım Hızı, Hesaplama Hızı	SVM-rate-speed: %97.38, 0.83 sec, NBC-rate-speed: %90.00, 0.67 sec, DT-rate-speed: %59.00, 0.19 sec, MLP-rate-speed: %97.74, 0.19 sec.

Yang vd. (2019)	NSL-KDD ve UNSW-NB <sub>15</sub>	MDPCA-DBN (önerilen model)	-	ACC, DR, PRE, REC, FSC, FPR	KDDTest+: ACC: %82.08 DR: %70.51 FPR: %2.62 KDDTest-21: ACC: %66.18, DR: %61.57, FPR: %13.06 UNSW- NB <sub>15</sub> : ACC: %90.21, DR: %96.22, FPR: %17.15
Tama vd. (2019)	NSL-KDD ve UNSW-NB <sub>15</sub>	SVM, NB, DT, MLP, Rasgele Orman, Logistic Regression, NN	Weka	ACC, FPR, Sensitivity, PRE	KDD: SVM: ACC: %81.58, (bagging)J48: ACC: %84.25, RF: ACC: 80.67, DT: ACC: %81.05, Naive bayes: ACC: %76.50. UNSW-NB <sub>15</sub> : DT: ACC: %81.42, LR: ACC: 83.13, Naive Bayes: ACC: %82.07, Neural Network: ACC: %81.34.
Sethi vd. (2020)	NSL-KDD, UNSW-NB <sub>15</sub> ve AWID	DRL, Rasgele Orman, KNN, ADB, GNB ve QDA	Python	ACC, FPR	NSL-KDD: ACC: %81, FPR: %2.6 UNSW- NB <sub>15</sub> : ACC: %85.09, FPR: %3.3 AWID: ACC: %96.02, FPR: %0.3
Wu vd. (2020)	NSL-KDD ve UNSW-NB <sub>15</sub>	Parametre Optimizasyonu, Ada-boost, SVM, CNN, MLP, Rasgele Orman, LuNet, HAST-IDS, LSTM	Python	ACC, DR, FAR	NSL-KDD: ACC: %98.70, DR: %98.92, FAR: %0.80, UNSW-NB <sub>15</sub> : ACC: %97.42, DR: %85.76, FAR: %2.37 PELICAN: ACC: %97.75, DR: %86.64, FAR: %1.30
Aleesa vd. (2021)	UNSW-NB <sub>15</sub>	Parametre Optimizasyonu, ANN, DNN, Rasgele Orman, NB, LR, DT, EM	-	İkili sistemde doğruluk değerleri, çoklu sınıfta doğruluk değerleri.	ANN: binary classification ACC: %99.26, multi-class classification ACC: %97.89, DNN binary classification ACC: %99.22, multi-class classification ACC: %99.59, RNN-LSTM: binary classification ACC: %85.42, multi-class classification ACC: %85.38

Not: ACC = Accuracy, DR = Detection Rate, FPR = False Positive Rate, PRE = Precision, REC = Recall, FSC = F-Score, FAR = False Alarm Rate, AUC = Area Under the ROC Curve

Önerilen sistemin performans değerlendirilmesinde ise NSL-KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümeleri kullanılmıştır. Naive Bayes Sınıflandırıcı (NBC, *Naive Bayes Classifiers*), SVM, Rasgele Orman, ADB (AdaBoost), Karar Ağacı (DT, *Decision Tree*) ve Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP, *Multilayer Perceptron*) algoritmaları karşılaştırma analizlerinde kullanılmıştır. Sethi ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ağa dağıtılmış çok sayıda bağımsız derin öğrenme yöntemini kullanan ve bağlama duyarlı olan bir Saldırı Tespit Sistemi önerilmiştir (Sethi vd., 2020). Çalışmada NSL-KDD, UNSW-NB<sub>15</sub> ve AWID veri kümeleri kullanılmıştır. Önerilen Saldırı Tespit Sistemi'nde Rasgele Orman, ADB, GNB (*Gaussian Naive Bayes*), KNN (*K-Nearest Neighbors*) ve QDA (*Quadratic Discriminant Analysis*) sınıflandırıcıları kullanılmıştır. Chu ve diğerleri tarafından SVM kullanılarak gelişmiş kalıcı saldırıların tespiti ve sınıflandırılması üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir (Chu vd., 2019). Gelişmiş Kalıcı Tehdit (APT, *Advanced Persistent Threat*) karmaşık ve hedefli bir saldırı türüdür. Saldırganlar hedefine saldırmadan önce bilgi toplamak için stratejik bir planlama yapmakta ve bazı özel yöntemler kullanmaktadır. Yapılan bu APT saldırılarının erken tespit edilmesini için önerilen sistemin performansı, NSL-KDD veri kümesi üzerinde analiz edilmiştir. SVM, NBC, DT ve MLP sistemde kullanılan algoritmalarıdır. Yang ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise Değiştirilmiş Yoğunluk Tepe Kümeleme Algoritması (MDPCA, *modified density peak clustering algorithm*) ve DBNs (deep belief networks) kullanılarak bulanık bir toplama yaklaşımı önerilmiştir (Yang vd., 2017). NSL-KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümeleri kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlara göre önerilen model ile diğer iyi bilinen sınıflandırma yöntemlerinden daha yüksek performans elde edilmiştir. Tama ve diğerleri tarafından

yapılan çalışmada, NSL-KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümeleri için en iyi özneliklerin seçiminde partikül sürüsü optimizasyonu, karınca koloni algoritması ve genetik algoritma içeren hibrit bir öznelik seçim tekniği kullanılmıştır (Tama ve Rhee, 2019). Azaltılmış Hata Budama Ağacı (REPT, *Reduced Error Pruning Tree*) sınıflandırıcısı kullanılarak anormali tespiti yapılmıştır. Yang ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise İyileştirilmiş Koşullu Değişken Otomatik Kodlayıcı (ICVAE, *Improved Conditional Variational AutoEncoder*) ve DNN birleşimi yeni bir saldırı tespit sistemi geliştirilmiştir (Yang vd., 2019). ICVAE-DNN modelinin performans değerlendirilmesinde NSL-KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümeleri kullanılmıştır. Önerilen model, eğitim verilerini dengelemek ve çeşitliliğini arttırmak için izinsiz girişlere göre yeni saldırılar oluşturmaktadır. Böylece dengesiz saldırılar tespit edilmektedir. KNN, Çok Terimli Naive Bayes (*MultinomialNB*, *Multinomial Naive Bayes*), Rasgele Orman, SVM, DNN ve DBN algoritmaları ile karşılaştırıldığında önerilen model ile daha yüksek performans değerleri elde edilmiştir. Wu ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Pelican adında özel olarak tasarlanmış bloklar üzerine inşa edilen derin bir sinir ağı NSL-KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümeleri üzerindeki anomalilerin tespiti için önerilmiştir (Wu ve Moustafa, 2020). Aleesa ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada izinsiz girişlerin tespit edilmesi için ANN, RNN ve DNN'ye dayalı derin öğrenme modelleri önerilmiştir. Çalışmada kullanılan UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümesi ikili ve çoklu sınıflandırma şeklinde ayrı ayrı olarak ele alınmıştır. En yüksek performans çıktısı ikili sınıflandırmada (%99.26) doğruluk değeri ile ANN yöntemi elde etmiştir. Çoklu sınıflandırmada ise (%99.59) doğruluk değeri ile DNN yöntemi ile elde edilmiştir (Aleesa vd., 2021). Divekar ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, UNSW-NB<sub>15</sub>, KDD Cup

99 ve NSL-KDD veri kümeleri üzerinde SVM, Rasgele Orman, Sinir Ağı, NB ve K-means algoritmaları karşılaştırılmıştır. KDD Cup 99 ve NSL-KDD veri kümelerinde bulunan U2R ile R2L saldırıları sınıflandırıcıların etkinlikleri ile engellenmiştir. Bu şekilde olası güvenlik riskleri ortaya çıkarılmıştır. Sentetik Azınlık Örneklem Arttırma Yöntemi (*SMOTE, Synthetic Minority Over-Sampling Technique*) yönteminin uygulamasından önce ve sonra olmak üzere iki deney şeklinde ele alınmıştır. SMOTE uygulaması sonrası en yüksek çıktı NSL-KDD veri kümesinde SVM, KDD Cup 99 veri kümesinde NB ve SVM ile elde edilmiştir. Son olarak UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümesinde ise en yüksek performans değerlerine Rasgele Orman ve SVM algoritmaları ile ulaşılmıştır (Divekar vd., 2018). Baykan ve Khorram (2021) yaptıkları çalışmada ise internet ağı üzerindeki saldırı tespiti için gerçekleştirimi sonucu performansların analizi için NSL-KDD veri kümesini kullanmıştır. KNN, Destek Vektör Makineleri (DVM, *Support Vector Machine*) ve Rasgele Orman algoritmaları üzerindeki performans analizleri yapılan çalışmada Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO, *Particle Swarm Optimization*) ve Yapay Arı Kolonisi (YAK, *Artificial Bee Colony*) teknikleriyle de optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Diğer bir çalışmada ise Altunay ve Albayrak (2021) saldırı tespiti için evrişimli sinir ağını CSE-CIC-IDS2018 veri kümesinde gerçekleştirmiştir. SMOTE tekniğinin kullanıldığı çalışmada saldırıların tespiti için başarımları en düşük %98.70, en yüksek %99.10 doğruluk değerleri elde edilmiştir.

Literatürde saldırı tespiti için yapılan çalışmalarda kullanılan birçok veri kümesi mevcuttur. Bu çalışmada, Tablo 1 ile özetlenen literatürdeki çalışmalarda kullanıldığı üzere NSL-KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümeleri kullanılmıştır. Uygulanan ön işlem adımları, seçilen makine öğrenmesi algoritmaları ve algoritmaların en uygun hiper-parametrelerinin tespit edilmesinde kullanılan rasgele arama yöntemi ile literatür ile elde edilen performans değerleri ile kıyaslandığında önerilen yöntemin üstünlüğü ve etkinliği kanıtlanmaktadır. NSL-KDD veri kümesi KDD Cup 99 veri kümesindeki dezavantajlar ele alınarak oluşturulan bir veri kümesidir. UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümesi ise KDD 99 veri kümesindeki elverişli olmayan özelliklerin çıkarılması ile geliştirilen bir veri kümesidir. Yapılan deneylerde iki veri kümesi ele alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırmaların yapıldığı ilk deneyde kullanılan topluluk öğrenme yöntemleri Rasgele Orman, CatBoost, XGBoost ve LightGBM'dir. Topluluk öğrenme yöntemleri temel olarak bagging (*torbalama*) ve boosting (*yükseltme*) olarak ikiye ayrılmaktadır. Bagging yönteminde veri kümesi içerisinde yerine konacak şekilde tekrar tekrar örnekler çekilerek yeni ağaçlar oluşturulmaktadır. Ardından oluşturulan ağaçlar ile bir topluluk ortaya çıkmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan Rasgele Orman algoritması bu topluluk öğrenme yöntemleri arasındadır. Boosting yöntemi ise veri kümesine farklı ağırlıklar vererek oluşan topluluktan varsayımlar yapmaktadır. Kullanılan XGBoost, CatBoost ve LightGBM algoritmaları da bu topluluk öğrenme yönteminin içerisinde yer almaktadır. Çalışmada yapılan ikinci deneyde ise kullanılan topluluk öğrenme yöntemlerine Rastgele Arama yöntemi ile hiper-parametre optimizasyonu yapılmıştır. Son olarak performans metrikleri sonucunda elde edilen iyileştirmeler incelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

### 3. Materyal ve Yöntemler

Gerçekleştirilen çalışmada saldırıların tespiti için topluluk öğrenme yöntemleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Kullanılan

hiper-parametre optimizasyon yöntemi ile yapılan deneyler sonucu elde edilen performans çıktılarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu bölümde, NSL-KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümeleri ve kullanılan topluluk öğrenme yöntemleri anlatılmıştır. Ardından ele alınan hiper-parametre optimizasyonu için uygulan yöntem ve performans metrikleri verilmiştir.

#### 3.1. Veri Kümeleri

Çalışmada NSL-KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümeleri kullanılmıştır. NSL-KDD veri kümesi ağ üzerinde simülasyonu yapılan çeşitli izinsiz girişleri içerir. Veri kümesinde 41 tane öznitelik bulunmaktadır. Bu özniteliklerin üç tanesi nitel diğer otuz sekiz tanesi de nicel özniteliklerdir. Ayrıca bu veri kümesi üç ayrı başlık altında incelenmektedir. Bu başlıklar; içerik özellikleri, sunucu tabanlı trafik özellikleri ve zamana bağlı trafik özellikleridir. İçerik özellikleri TCP bağlantısı ile oluşturulan özniteliklerdir. Sunucu tabanlı özellikler ise etki alanı (domain) bilgisi ile sağlanmaktadır. Aynı sunucu ve servis özelliklerini kullanan özniteliklerde zamana bağlı trafik özelliklerini oluşturmaktadır. Veri kümesinde bilgisayara yapılan atak türleri ise DoS, U2R, R2L ve Probing'dir. DoS saldırıları binlerce IP adresinin kullanılmasıyla saniyeler içerisinde birçok veri gönderimi sonucu yapılan siber saldırılardan oluşmaktadır. U2R, kullanıcıların hesaplarının yönetici hesaplarındaki yetkinlikler ile sistemlere erişebilme haklarının sağlanması için yapılan saldırılardır. R2L saldırıları uzak makinelerden yetkisiz bir şekilde giriş yapıldığı ve kullanılan araçlar yardımıyla sistemde bir açık olduğu anda sisteme gönderilen paketler ile yapılan saldırılardır. Probing saldırı türünde ise saldırgan sistem hakkında bilgi toplayarak sisteminin zayıflıklarını bulmaktadır. Ardından bu zayıflıklardan yola çıkarak çeşitli araçlar ile saldırısını gerçekleştirmektedir.

UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümesi ise Avustralya Siber Güvenlik Merkezi'nin Cyber Range Laboratuvarındaki IXIA PerfectStorm aracı tarafından oluşturulmuştur. Bu veri kümesi 2007 yılındaki bir DDos saldırısından yaklaşık bir saatlik anonim trafik izlerini içermektedir (Yavanoglu ve Aydos, 2017). Veri kümesinde dokuz ayrı saldırı türü (Fuzzers, Analysis, Backdoors, DoS, Exploits, Generic, Reconnaissance, Shellcode ve Worms) ve 49 öznitelik bulunmaktadır. Bu özniteliklerin çıkarılmasında ise Argus, Bro-IDS araçları kullanılmış ve 12 model geliştirilmiştir. Öznitelikler akış özellikleri, temel özellikler, içerik özellikleri, zaman özellikleri ve oluşturulan ek özellikler olmak üzere beş gruba ayrılmıştır.

#### 3.2. Öznitelik Seçimi

NSL-KDD veri kümesi 41 adet öznitelik ve UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümesi ise 49 adet öznitelik içermektedir. Bu özniteliklerin önem dereceleri farklıdır. Saldırı tespit sistemleri için NSL-KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> gibi büyük boyutlu veri kümelerinde verimli bir şekilde sonuç alabilmek için bütün özniteliklerin kullanılması gerekli değildir. Ayrıca önem derecesi düşük ve gereksiz öznitelikler işlem süresi artıracak, performansı olumsuz etkileyecek ve verimliliği düşürecektir. Öznitelik seçimi ile hesaplama maliyetinin düşürüldüğü bir ön işlem adımdır. Veri kümelerinden öznitelik seçimi için boyu indirgeme ve öznitelik çıkarma için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada önem derecesi düşük olan özniteliklerin seçimi için Rasgele Orman algoritmasından yararlanılmıştır. Rasgele Orman algoritması, özniteliklerin önem derecesini ağaç temelli stratejilerin düğümün Gini safsızlığını (Gini impurity) ne kadar iyi arttırdıklarına göre



sıralamaktadır. Belirli bir düğümün altındaki ağaçları indirgeyerek en önemli özniteliklerin bir alt kümesini oluşturur. Ağaç düğümlerinin tüm ağaçtaki karmaşıklığı azaltılmasıyla bir özneliğin önemini belirten yeni bir ağaç oluşturulur. Bu çalışmada da işlem adımları aşağıdaki yazıldığı gibi gerçekleştirilmiştir;

1. Öncelikle kullanılan veri kümeleri tanımlanarak veri kümeleri eğitim ve test kümelerine bölünmüştür.
2. Sklearn nesnesi kullanılarak veri kümesindeki tüm özelliklerin ortalama önem değerinden büyük olan öznitelikler seçilmiştir.
3. Eğitim aşamasından sonra her özellik için bir puan otomatik hesaplanarak tüm önem derecelerinin toplamı bire eşit olacak şekilde ölçeklendirilmiştir.
4. Elde edilen önem derecelerine göre kullanılacak olan öznitelikler belirlenerek bir alt küme oluşturulmuştur.
5. Oluşturulan yeni alt küme ile sınıflandırıcı tekrar eğitilerek deneyler yapılmıştır.

Sonuç olarak NSL-KDD veri kümesinde önem derecesine göre kullanılan öznelik sayısı 15 iken UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümesinde önem derecesine göre kullanılan öznelik sayısı 23'tür.

### 3.3. Kullanılan Topluluk Öğrenme Algoritmaları

**Rasgele Orman:** Bir karar ağacı sınıflandırma yöntemi olan Rasgele Orman sınıflandırması birden fazla karar ağacı kullanarak daha tutarlı sonuçların elde edildiği bir topluluk öğrenme modelidir. Hem regresyon hem de sınıflandırma problemlerinde kullanılan bu yöntem hiper-parametre kestirimi olmadan da iyi sonuçlar veren bir sınıflandırıcıdır (Şimsek, 2018). Eğitim sırasından birden fazla karar ağacı oluşturan bu yöntem kestirim aşamasında bu ağaçların sonuçlarından yola çıkarak girdi olan verinin çoğunluk oyu aracılığı ile karar vermesini sağlamaktadır (Kalaycı, 2018). Bu sınıflandırıcı aşırı uyum sorununu çözdüğü için başarılı sonuçlar vermektedir. Rasgele Orman algoritması 'n' tane karar ağacı ile oluşturulan modellerden oluşmaktadır. Bu algoritma iki aşamada işlemleri gerçekleştirmektedir. Birinci aşamada rasgele orman modeli oluşturulmaktadır. İkinci aşamada ise oluşturulan modelden sınıflandırıcı yardımı ile tahminler yapılmaktadır.

**CatBoost:** CatBoost veri kümesindeki kategorik öznitelikleri hızlı bir şekilde işleyen Gradyan Arttırma Karar Ağacı (*GBDT*, *Gradyan Boosted Decision Tree*) algoritmasıdır. Büyük veri kümelerini kullanan derin öğrenme modellerinin aksine bu algoritma az veriyle de başarılı sonuçlar elde etmektedir. Performanslı, kategorik verileri otomatik olarak işleyen ve kullanımı kolay olan bir algoritmadır. Geleneksel GBDT algoritmalarından farklı olarak önışleme süresi yerine eğitim süresi boyunca kategorik öznitelikleri ele almaktadır. Ayrıca Gradyan arttırmada kategorik özniteliklerin kullanılmasında çeşitli yöntemler kullanılsa da bu yöntemler tahminlerde kaymalara neden olmaktadır. Bu nedenle tahminleri iyileştirmek ve aşırı uyum sorununu çözmek için CatBoost algoritması önerilmiştir (Muratlar, 2020).

$$x_{\sigma_p} k = \frac{\sum_{j=1}^{p-1} [x_{\sigma_j k = x_{\sigma_p} k}] Y_{\sigma_j + a.p}}{\sum_{j=1}^{p-1} [x_{\sigma_j k = x_{\sigma_p} k}] + a} \quad k \in (1, d) \quad (1)$$

Eş. 1'de  $D = \{(X_i, Y_i)\}$  belirli bir n kümesini temsil etmektedir.  $X_i = (x_i, 1, \dots, x_i, d)$  ise d özneliklerinin bir vektörüdür.  $\sigma = (\sigma_1, \dots, \sigma_s)$ , veri kümesinin s rastgele permütasyonlarının sayısıdır ve a, önceki P değerinin ağırlığıdır. Ayrıca CatBoost kategorik özelliği  $x_{\sigma_p} k$  değeri yukarıdaki formül ile elde edilir.

**XGBoost:** XGBoost, karar ağacı tabanlı, hızlı ve performanslı bir algoritmadır. XGBoost algoritması karar ağaçlarını oluştururken paralel çalıştırma yaptığı için işlemler hızlı bir şekilde sonuç vermektedir. Algoritma öncelikle *max\_depth* ile ağacın derinliğini belirlemektedir. Ağaç aşağı yönde fazla derin ise geriye doğru budama yaparak işlemlerine devam etmektedir. XGBoost algoritmasında *max\_depth*, *min\_child\_weight* ve *gamma* hiper-parametrelerini optimize edilmesi karmaşıklığı düşürmektedir. *Sub\_sample* ve *comsample\_bytree* hiper-parametrelerini optimize ederek oluşturulan modelin rasgeleliği arttırmaktadır. Bu şekilde modelin veriyi ezberlemesini engelleyerek aşırı öğrenme sorununa çözüm bulmaktadır. En önemli özelliklerinden bir tanesi ise verileri ağaçlara ayırırken doğru noktayı ayırmak için veri kümesindeki gözlem noktalarını ağırlıklarına göre kullanıyor olmasıdır (Muratlar, 2020). Veri kümesindeki eksik değer eğilimlerini de tespit eden ve genel anlamda minimum gereksinimle başarılı sonuçlar üretmek tahminler yapan bir algoritmadır.

**LighGBM:** LightGBM algoritması ise histogram tabanlıdır. CatBoost algoritmasına benzer şekilde öznelik adlarının girdi olarak alarak kategorik öznitelikleri işlemektedir. LightGBM algoritmasında karar ağaçlarının eğitim süresi, yapılan hesaplama ve dolayısıyla bölünme sayısı ile doğru orantılıdır. Bu özelliği sayesinde hem eğitim süresi kısa olmakta hem de kaynak kullanımı düşmektedir. Bu algoritma karar ağacı algoritmalarına dayandığı için, ağacı en uygun olacak şekilde yaprak bilgisine bölerken, diğer artırma algoritmaları ağacı yaprak bazında değil, derinlik bazında veya seviye bazında bölmektedir. Bu nedenle, LightGBM algoritması aynı yaprak üzerinde büyüdüğünden yaprak-bazlı algoritma ve seviye-bazlı algoritmadan daha fazla kaybı azaltmaktadır. Bu şekilde mevcut artırma algoritmalarından herhangi biri tarafından elde edilebilecek çok daha iyi doğruluk değerlerine ulaşılmaktadır (Khandelval, 2017). Ayrıca büyük boyutlu verileri işleyebilen ve yüksek düzeyde optimize edilmiş bir karar ağacı öğrenme algoritmasıdır.

### 3.4. Hiper-Parametre Optimizasyonu

Parametre optimizasyonu genel anlamda belirli makine öğrenimi algoritmalarını büyük boyutlu probleme doğrudan uygulamadan önce problemi daha küçük problem parçacıklara ayırmaktır. Ardından farklı parametre kombinasyonları uygulayarak amaç fonksiyonu sonucunda en iyi çıktıyı üreten parametreyi elde etmektir. Parametre optimizasyonu genelde hiper-parametre optimizasyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. Parametrelerden farklı olarak hiper-parametre değerlerinin eğitim aşamasında öğrenilmesi mümkün değildir. Modelleme kısmına gelmeden önce veri bilimci tarafından belirlenmektedir. Hiper-parametre optimizasyonu ise makine öğrenimi algoritmalarında en iyi sonucu veren hiper-parametreleri bulma işlemlerinden oluşmaktadır. Bu işlemler oldukça zaman alıcı ve uğraştırıcı işlemlerdir. İzgara araması, rasgele arama, bayes optimizasyonu, gradyan tabanlı optimizasyon, evrimsel optimizasyon ve erken durdurmaya dayalı gibi seçim işlemlerini gerçekleştiren çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Hiper-parametre Optimizasyonu, 2021). Gerçekleştirilen çalışmada ise bu yöntemlerden biri olan



rastgele arama yöntemi kullanılmıştır. Rasgele arama yöntemi, tüm kombinasyonların kapsamlı numaralandırılmasını rastgele değiştiren bir yöntemdir. Rasgele arama algoritması, ızgara aramasını temel alan bir yöntem olsa da optimum seviyeye yakın bir performans elde etmesinden dolayı ızgara araması yönteminden daha başarılı sonuçlar elde edildiği kanıtlanmıştır (Altun and Talu, 2021). Rasgele arama algoritmasında, hiper-parametre optimizasyonu sonucunda başarılı çıktılar elde edebilmek için çok sayıda ağaç ile daha az varyansla optimum bir model oluşturulur. Ayrıca her bölmede dikkate alınacak özelliklerin sayısı, çapraz doğrulama yöntemi ile elde edilir. Bu yöntem ile bir dizi değer rastgele kombinasyonları denenmektedir. Bu optimizasyon yönteminde en önemli hiper-parametreler 'n\_estimators', 'max\_depth', 'max\_features', 'bootstrap', 'min\_samples\_split' ve 'min\_sample\_leaf' hiper-parametreleridir. n\_estimators ağaç sayısını temsil etmektedir. Sklearn'de varsayılan değer 100'dür. Genellikle veri boyutu ile ilişkili bir parametredir. max\_depth, bir ağaç için izin verilen maksimum seviyedir. Ayarlanması yapılmaz ise ağaç saflığa ulaşana kadar bölünmeye devam edecektir. max\_features, bir düğümde bölme işlemi için kullanılan maksimum özellik sayısını temsil etmektedir. Bootstrap parametresi ise "true" olarak belirlenmelidir. Aksi takdirde karar ağaçları oluşturulurken bootstrap örnekleri yerine her karar ağacı için tüm veriler kullanılır. min\_samples\_split parametresi ise bir düğümü bölmek için gereken minimum sayıdır. min\_sample\_leaf parametresi de karar ağacının bir düğümündeki minimum veri noktasının sayısını ayarlamaktadır. Hiper-parametrelerin uygun değerlerinin ayarlanması sonucunda optimizasyon için deneyler yapılarak sonuçlar değerlendirilmelidir. Bu tekniğin düşük boyutlu verilerde iyi sonuçlar vermesinin nedeni ise doğru kümenin bulunması için geçen sürenin ve yineleme sayısının az olmasındandır (Senapati, 2018).

### 3.5. Performans Metrikleri

Çalışmada kullanılan sınıflandırıcıların performansını analiz ederken göz önünde bulundurulacak metrikler Doğruluk (ACC), Kesinlik (PRE), Duyarlılık (REC), F1 değeri (FSC) ve İşlem Karakteristik (ROC, Receiver Operating Characteristic)'dir.

**Doğruluk:** Sınıflandırma modellerinin performans ölçümlerinden biri olan doğruluk değeri doğru tahmin edilen verilerin tüm tahmin değerlerine oranını göstermektedir. Eş. 2'de gösterilen formül ile elde edilmektedir (Öğündür, 2019).

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP+FP}{TP+TN+FP+FN} \quad (2)$$

**Duyarlılık:** Doğru sınıflandırılan pozitif olan verilerin, toplam pozitif olan verilere oranına denir. Bu metrik kullanılarak oluşturulan modelin verilerinden, pozitif sınıf etiketlerinin bulmasındaki oranı belirlenmektedir. Eş. 3'te gösterilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

**Kesinlik:** Duyarlılıktan farklı olarak bu ölçüt ile doğru olan sınıflandırması yapılan pozitif olan örneklerin, toplam pozitif tahmin edilen örneklere oranı ölçülmektedir. Eş. 4 ile verilmektedir.

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4)$$

**F-ölçütü:** Duyarlılık ve kesinlik performans ölçütlerinin harmonik bir ortalaması olan F değeri bu özelliği sayesinde iki farklı performans ölçütünü kendi bünyesinde değerlendirmektedir. Bu metrik tek bir karşılaştırma ölçüsü vermektedir (Eş. 5).

$$\text{F-ölçütü} = \frac{2 \cdot \text{Duyarlılık} \cdot \text{Kesinlik}}{\text{Duyarlılık} + \text{Kesinlik}} \quad (5)$$

**ROC:** Makine öğrenimi algoritmalarının performans ölçümlerinde sıklıkla kullanılan bir ölçüm değeridir. Oluşturulan modelin tahmininde ne derecede başarılı olduğunu göstermektedir. ROC bir olasılık eğrisidir ve x ekseninde FPR, y ekseninde ise TPR değerleri bulunmaktadır. ROC eğrisinde her bir nokta ise belirli bir karar eşiğine karşılık olan duyarlılık çiftini temsil etmektedir (Aksu, 2020).

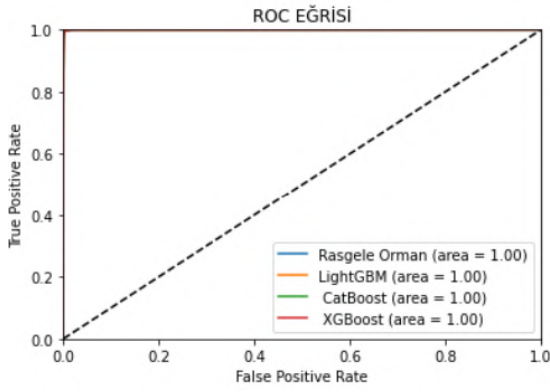
## 4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, gerçek zamanlı veri kümelerinden yola çıkarak normal ve anormal olma durumuna göre saldırının olduğu ya da olmadığı durumlar tahmin edilmektedir. Yapılan çalışma Python programla dilinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler Windows 10 işletim sisteminde, Python'un 3.8.2 sürümünde yapılmıştır. Gerçekleştirilen tüm deneyler, 8 GB RAM'e sahip olan Intel(R) Core (TM) i7-5500U CPU @ 2.40GHz bir bilgisayarda yapılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada saldırıların tespiti için Rasgele Orman, CatBoost, XGBoost ve LightGBM algoritmalarının NSL-KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümelerinde gerçekleştirimi sonucu elde edilen deney sonuçları ele alınmıştır. Algoritmalara uygulanan rasgele arama yöntemi ile hiper-parametreler optimize edilmiştir. Öncelikle Tablo 2'de NSL-KDD veri kümesinin ilk deney sonucundaki elde edilen ölçümler gösterilmiştir.

Tablo 2. NSL-KDD Veri Kümesi Test Sonuçları

	PRE	REC	FSC	AUC	ACC
<b>Rasgele Orman</b>	%99.99	%99.99	%99.99	%99.98	%99.99
<b>CatBoost</b>	%99.99	%99.99	%99.99	%99.98	%99.99
<b>XGBoost</b>	%99.99	%99.99	%99.99	%99.97	%99.99
<b>Light GBM</b>	%99.99	%99.99	%99.99	%99.98	%99.99

Performans metriklerinin sonucuna göre NSL-KDD veri kümesinde dört algoritma ile (%99.99) değerinde doğruluk skoru elde edilmiştir. Bu veri kümesinde algoritmalar başarılı performanslar göstermiştir. Şekil 1'de ise NSL-KDD veri kümesinin test sonuçlarını içeren ROC eğrisi gösterilmiştir. Bu şekilde elde edilen AUC değeri ise Rasgele Orman algoritmasında ve diğer üç algortmada da 1.00 şeklinde elde edilmiştir.



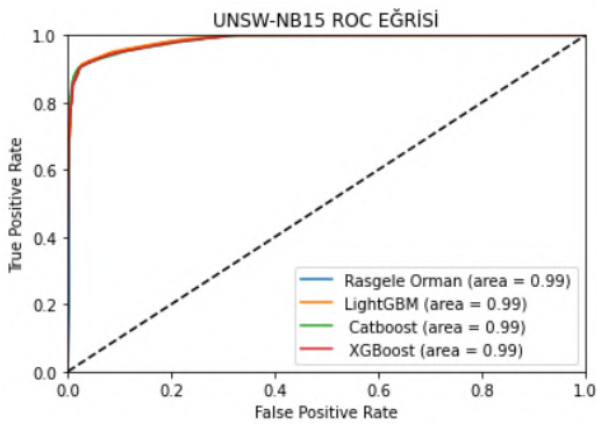
Şekil 1. NSL-KDD ROC Eğrisi

Tablo 3'te ise UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümesinin performans metriklerinin sonuçları gösterilmiştir. Buradaki veri kümesinde en yüksek performans değeri Rasgele Orman algoritması (%93.62) ile elde edilirken en düşük performans değerini LightGBM algoritması (%93.29) ile elde edilmiştir.

Tablo 3. UNSW-NB<sub>15</sub> Veri Kümesi Test Sonuçları

	PRE	REC	FSC	AUC	ACC
<b>Rasgele Orman</b>	%93.63	%99.63	%99.54	%98.43	%93.62
<b>CatBoost</b>	%93.56	%99.63	%96.50	%98.55	%93.55
<b>XGBoost</b>	%93.47	%99.60	%96.44	%98.53	%93.43
<b>LightGBM</b>	%93.26	%99.66	%96.36	%98.67	%93.29

Şekil 2'de ise UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümesinin test sonuçlarını içeren ROC eğrisi gösterilmiştir. Bu şekilde elde edilen AUC değerleri ise en yüksek (%98.67) ile LightGBM algoritması ile elde edilmiştir.



Şekil 2. UNSW-NB<sub>15</sub> ROC Eğrisi

Hiper-parametre optimizasyonundan önce en yüksek doğruluk değeri, NSL-KDD veri kümesinde Rasgele Orman sınıflandırıcısı (%99.99) ile UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümesinde ise Rasgele Orman, XGBoost ve LightGBM sınıflandırıcısı ile elde edilmiştir.

Hiper-parametre optimizasyonu sonucunda algoritmaların doğruluk değerlerinde artış olmuştur.

Optimizasyon sonucu en yüksek doğruluk değeri NSL-KDD veri kümesinde XGBoost sınıflandırıcısıyla, UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümesinde ise Rasgele Orman sınıflandırıcısı ile elde edilmiştir.

Rasgele arama yöntemi ile optimize edilen hiper-parametreler NSL-KDD veri kümesi için Tablo 4 ile gösterilmiştir. Bu optimizasyonu sonucu NSL-KDD veri kümesinde Rasgele Orman algoritması ile en iyi hiper-parametreler ele alınarak (%99.99) doğruluk değeri elde edilmiştir. CatBoost algoritmasında ise *depth*=9, *iterations*=38 ve *learning\_rate*=2.7 hiper-parametrelerine karşılık %99.36 değerinde doğruluk skoru elde edilmiştir. LightGBM algoritmasında ise *scale\_post\_weight*=12 değeri ile (%99.92) doğruluk değeri elde edilmiştir. XGBoost algoritmasında da hiper-parametre optimizasyonu sonucu (%99.99) doğruluk değerine ulaşılmıştır.

Tablo 4. NSL-KDD Veri Kümesi Topluluk Öğrenme Algoritmaları için Hiper-parametreler

Algoritma	Hiper-parametre	Değer
Rasgele Orman	n_estimators	10
	max_depth	10
	depth	9
CatBoost	iterations	38
	learning_rate	2.70
LightGBM	scale_post_weight	12
	min_child_samples	100
XGBoost	max_depth	10
	learning_rate	0.1
	min_child_weight	10

Tablo 5 ile rasgele arama yöntemi ile optimize edilen hiper-parametrelerin UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümesi için değerleri gösterilmiştir. UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümesinde Rasgele Orman algoritmasına rasgele arama yönteminin uygulanması sonucunda (%96.86) değerinde doğruluk değeri elde edilmiştir. CatBoost ve LightGBM algoritmalarında bu değerler sırasıyla (%98.53) ve (%98.63) olarak elde edilmiştir.

Tablo 5. UNSW-NB<sub>15</sub> Veri Kümesi Topluluk Öğrenme Algoritmaları için Hiper-parametreler

Algoritma	Hiper-parametre	Değer
Rasgele Orman	n_estimators	10
	max_depth	10
CatBoost	depth	8
	iterations	38
	learning_rate	2.70
LightGBM	scale_post_weight	6
	min_child_samples	100
XGBoost	max_depth	10
	learning_rate	0.2
	min_child_weight	10

Tablo 6. NSL-KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> Veri Kümelerinin Hiper-Parametre Optimizasyonu Sonucu Doğruluk Değerleri

Veri Kümesi	Topluluk Öğrenme Algoritmaları			
	Rasgele Orman	CatBoost	XGBoost	LightGBM
NSL-KDD	%99.99	%99.36	%99.99	%99.92
UNSW-NB <sub>15</sub>	%96.86	%98.53	%98.63	%98.54

Kullanılan her iki veri kümesinde elde edilen doğruluk değerleri Tablo 6 ile gösterilmiştir. Rasgele arama yöntemi ile hiperparametrelerin optimizasyonu sonucu elde edilen performans sonuçları incelendiğinde kullanılan sınıflandırıcılar arasında çok farklılık olmadığı görülmüştür. Bu doğrultuda Rasgele Orman, XGBoost, CatBoost ve LightGBM sınıflandırıcılarının her iki veri kümesinde de normal ve anormal saldırıların tespit edilmesi işlemlerinde başarılı olduğu görülmektedir.

Literatürde NSL-KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümesini kullanarak çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada önerilen yöntem ile elde edilen performans ölçütlerinin değerleri literatürde önerilen yöntemler ile elde edilen performans değerleri ile kıyaslandığında önerilen yöntemin etkinliği ve üstünlüğü kanıtlanmaktadır. Bu çalışmada, veri boyutunun indirgenmesi sonucunda yüksek performans değerleri elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan veri kümelerinden biri olan NSL-KDD veri kümesi için en iyi performans değerleri Hakim vd. (2019) tarafından Naive Bayes algoritması ile elde edilen doğruluk değeri (%89.40) iken, bu çalışmada öznelik seçim işlemlerinin uygulanmasından sonra %97.00 doğruluk değerine ulaşılmıştır. Diğer bir çalışmada, hem NSL-KDD hem de UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümelerini kullanan Kamarudin vd. (2017) web saldırılarını tespit etmek için çeşitli deneyler yaptı. Deneyler sonucunda NSL-KDD veri kümesinde Logitboost ve Rasgele Orman algoritmalarının birleşimi sonucunda %90.33 doğruluk değeri elde edilmiştir. UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümesi kullanılarak yapılan deney sonucunda da aynı şekilde bu iki algoritmanın birleştirilmesi ile %99.45 doğruluk değeri elde edilmiştir. Literatürde bulunan diğer mevcut çalışmalarda aynı bu doğrultudaki teknikleri kullanarak yüksek çıktılar elde etmeyi amaçlamıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada da öznelik seçiminden sonra en yüksek skor her iki veri kümesinde de Rasgele Orman algoritması ile elde edilmiştir. Bu açıdan yapılan çalışmanın diğer yayımlara benzer şekilde her iki veri setinde de yüksek sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

## 5. Sonuç

Saldırı tespit sistemleri, ağlara ve sistemlere olan saldırıların tespit edilmesi için kullanılan sistemlerdir. Bir saldırı tespit edildiğinde veya anormal davranışların tespitinde bu sistemler uyarıyı yönlendiriciye iletmektedir. Ağ üzerindeki saldırıların analizi için elde edilen veriler en önemli bileşenler olarak kabul edilmektedir. Saldırı tespitinin ele alındığı çalışmalarda tutarlı sonuçların elde edilmesi için verilerin seçimi ve kullanımı da oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalarda amaç ağda gerçekleşen aktivitelerin izlenmesi ve trafiğin kontrol edilerek güvenliğin sağlanmasıdır. Bu çalışmada saldırı tespit sisteminin performansını ölçmek için NSL-KDD ve UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümeleri kullanılarak ağ üzerinde gerçekleşen saldırıların tespit edilmesi amaçlanmıştır. İkili sınıflandırma ayarları dikkate alınarak topluluk öğrenme algoritmalarının performansı ölçülerek çeşitli deneyler yapılmıştır. Ayrıca literatürde bu veri kümelerini

kullanarak yapılan çalışmaların çeşitli sınıflandırıcılar kullanılması sonucunda elde edilen performans sonuçları incelenmiştir. Mevcut olan çalışmalara benzer doğrultuda algoritmaların analiz edilmesinde doğruluk, hassasiyet, f-ölçütü ve ROC eğrisi dikkate alınmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen performanslar arasında en başarılı sınıflandırıcının her iki veri kümesinde de Rasgele Orman algoritması olduğu görülmüştür. Deneysel sonuçlarda tutarlı sonuçlar elde edilmesi için öznelik seçimi yapılarak test verileri üzerindeki doğruluğu arttırmak amaçlanmıştır. NSL-KDD veri kümesinin ikili sınıflandırmasında önem derecesine göre 15 öznelik kullanılırken UNSW-NB<sub>15</sub> veri kümesinde önem derecesine göre 23 öznelik kullanılmıştır. Öznelik seçiminden sonra önem derecesine göre ele alınan test verileri ile literatürdeki çalışmalar ile kıyaslandığında önerilen yöntem ile daha yüksek performans değerleri elde edilmiştir.

Gelecekteki çalışmalarda ise farklı öznelik seçim ve sınıflandırıcılarının anomali tespitindeki başarıları analiz edilecektir. Derin öğrenme modellerinin dahil edilmesiyle önerilecek bir Saldırı Tespit Sistemi'nin başarımı literatürdeki diğer sistemler ile kıyaslanacaktır. Hiper-parametre optimizasyonunda metasezgisel yöntemlere başvurularak algoritmaların performans analizlerinin yapılacaktır. Aşırı öğrenme probleminin çözülmesinde kullanılan birçok yöntem mevcuttur. Örneklem sayısı ile veri boyutunu büyütme, L1 ve L2 düzenleme (regularization) yöntemi ile modelin karmaşıklığının azaltılması ya da L1 veya L2 düzenlemesinde olduğu gibi, aşırı karmaşık bir model daha fazla uyum sağladığından katmanları kaldırarak modelin karmaşıklığını doğrudan azaltabilmek bu yöntemlerin bazılarıdır. Gelecek çalışmalarda bahsedilen bu tekniklerin kullanılması ve farklı veri kümelerinin topluluk öğrenme yöntemleri ile bir araya getirilmesi ile daha iyi sonuçlar elde edilmesi planlanmaktadır.

## Kaynakça

- Abuomman, A. A., & Reaz, M. B. I. (2017). A novel weighted support vector machines multiclass classifier based on differential evolution for intrusion detection systems. *Information Sciences*, 414, 225-246.
- Aksu Ç., (2020). ROC eğrisi nedir? Erişim adresi: <https://www.datascienceearth.com/roc-egrisi-nedir/>
- Aleesa, A., Younis, M., Mohammed, A. A., & Sahar, N. (2021). Deep-Intrusion Detection System With Enhanced UNSW-NB<sub>15</sub> Dataset Based On Deep Learning Techniques. *Journal of Engineering Science and Technology*, 16(1), 711-727.
- Altunay, H. C., & Albayrak, Z. (2021). Network Intrusion Detection Approach Based on Convolutional Neural Network. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (26), 22-29.
- Altun, S., & Talu, M. F. Derin Sinir Ağları için Hiperparametre Metodlarının ve Kitlerinin İncelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(2), 187-199.
- Ambusaidi, M. A., He, X., Nanda, P., & Tan, Z. (2016). Building an intrusion detection system using a filter-based feature selection algorithm. *IEEE transactions on computers*, 65(10), 2986-2998.
- Ashfaq, R. A. R., Wang, X. Z., Huang, J. Z., Abbas, H., & He, Y. L. (2017). Fuzziness based semi-supervised learning approach for intrusion detection system. *Information Sciences*, 378, 484-497.

- Bamakan, S. M. H., Wang, H., Yingjie, T., & Shi, Y. (2016). An effective intrusion detection framework based on MCLP/SVM optimized by time-varying chaos particle swarm optimization. *Neurocomputing*, 199, 90-102.
- Baykan, N. A., & Khorram, T. (2021). Network Intrusion Detection using Optimized Machine Learning Algorithms. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 463-474.
- Bostani, H., & Sheikhan, M. (2017). Modification of supervised OPF-based intrusion detection systems using unsupervised learning and social network concept. *Pattern Recognition*, 62, 56-72.
- Chu, W. L., Lin, C. J., & Chang, K. N. (2019). Detection and classification of advanced persistent threats and attacks using the support vector machine. *Applied Sciences*, 9(21), 4579.
- Divekar, A., Parekh, M., Savla, V., Mishra, R., & Shirole, M. (2018, October). Benchmarking datasets for anomaly-based network intrusion detection: KDD CUP 99 alternatives. In *2018 IEEE 3rd International Conference on Computing, Communication and Security (ICCCS)* (pp. 1-8). IEEE.
- Hakim, L., & Fatma, R. (2019, October). Influence analysis of feature selection to network intrusion detection system performance using nsl-kdd dataset. In *2019 International conference on computer science, information technology, and electrical engineering (ICOMITEE)* (pp. 217-220). IEEE.
- Hiperparameter Optimization. (2021). Wikipedia. Erişim adresi: [https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperparameter\\_optimization](https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperparameter_optimization)
- Kalaycı, T. E. (2018). Kimlik hırsızlığı web sitelerinin sınıflandırılması için makine öğrenmesi yöntemlerinin karşılaştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(5), 870-878.
- Kamarudin, M. H., Maple, C., Watson, T., & Safa, N. S. (2017). A logitboost-based algorithm for detecting known and unknown web attacks. *IEEE Access*, 5, 26190-26200.
- Kasongo, S. M., & Sun, Y. (2020). Performance Analysis of Intrusion Detection Systems Using a Feature Selection Method on the UNSW-NB<sub>15</sub> Dataset. *Journal of Big Data*, 7(1), 1-20.
- Khandelval P., (2017). Which algorithm takes the crown: Light GBM vs XGBoost? Erişim adresi: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2017/06/which-algorithm-takes-the-crown-light-gbm-vs-xgboost/>
- Muratlar E. R., (2020). CatBoost nedir? Diğer Boosting Algoritmalarından Farkı Nedir? Erişim adresi: <https://www.veribilimiokulu.com/catboost-nedir-diger-boosting-algoritmalarindan-farki-nelerdir/>
- Muratlar E. R., (2020). XGBoost Nasıl Çalışır? Neden İyi Performans Gösterir? Erişim adresi: <https://www.veribilimiokulu.com/xgboost-nasil-calisir/>
- Öğündür G., (2019). Doğruluk (Accuracy) , Kesinlik(Precision) , Duyarlılık(Recall) ya da F1 Score ?. Erişim adresi: <https://medium.com/@gulcanogundur/do%C4%9Fruluk-accuracy-kesinlik-precision-duyarl%C4%B1%C4%B1k-recall-ya-da-f1-score-300c925feb38>
- Primartha, R., & Tama, B. A. (2017, November). Anomaly detection using random forest: A performance revisited. In *2017 International conference on data and software engineering (ICoDSE)* (pp. 1-6). IEEE.
- Senapati D., (2018). Grid Search vs. Random Search. Erişim adresi: <https://medium.com/@senapati.dipak97/grid-search-vs-random-search-d34c92946318>
- Sethi, K., Rupesh, E. S., Kumar, R., Bera, P., & Madhav, Y. V. (2020). A context-aware robust intrusion detection system: a reinforcement learning-based approach. *International Journal of Information Security*, 19(6), 657-678.
- Simsek, H. K., (2018). Makine Öğrenmesi Dersleri 5a: Random Forest (Sınıflandırma). Erişim adresi: <https://medium.com/data-science-tr/makine-%C3%B6%C4%9Frrenmesi-dersleri-5-bagging-ve-random-forest-2f803cf21e07>
- Tama, B. A., Comuzzi, M., & Rhee, K. H. (2019). TSE-IDS: A two-stage classifier ensemble for intelligent anomaly-based intrusion detection system. *IEEE Access*, 7, 94497-94507.
- Tama, B. A., & Rhee, K. H. (2019). An in-depth experimental study of anomaly detection using gradient boosted machine. *Neural Computing and Applications*, 31(4), 955-965.
- Yang, Y., Zheng, K., Wu, C., Niu, X., & Yang, Y. (2019). Building an effective intrusion detection system using the modified density peak clustering algorithm and deep belief networks. *Applied Sciences*, 9(2), 238.
- Yang, Y., Zheng, K., Wu, C., & Yang, Y. (2019). Improving the classification effectiveness of intrusion detection by using improved conditional variational autoencoder and deep neural network. *Sensors*, 19(11), 2528.
- Yavanoglu, O., & Aydos, M. (2017, December). A review on cyber security datasets for machine learning algorithms. In *2017 IEEE international conference on big data (big data)* (pp. 2186-2193). IEEE.
- Wu, P., Guo, H., & Moustafa, N. (2020, June). Pelican: A deep residual network for network intrusion detection. In *2020 50th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks Workshops (DSN-W)* (pp. 55-62). IEEE.





# Karaman Kültürel Miras Değerleri ve Taşkale'nin Bölgesel Kalkınmadaki Yeri

Seda Dilay<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, El Sanatları Bölümü, Karaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5239-8589), [sdilay@kmu.edu.tr](mailto:sdilay@kmu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 02 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 25 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.977835)

**ATIF/REFERENCE:** Dilay, S., (2021). Karaman Kültürel Miras Değerleri ve Taşkale'nin Bölgesel Kalkınmadaki Yeri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 735-745.

## Öz

Tarihsel süreç içerisinde yeryüzünde farklı coğrafyalarda oluşan toplumsal birikimler, kültürel miras olarak tanımlanmaktadır. Toplumların kendine özgü gelenek, görenek, örf ve adetlerinin yanı sıra, saray, cami, medrese, köprü, han gibi mimari eserleri de toplumsal önem taşımaktadır. Ayrıca, çeşitli coğrafi özellikler sonucunda ortaya çıkan oluşumlar doğal miras olarak tanımlanmaktadır. Her toplumun aidiyet duygusunu gösteren, sahiplenme ve benimseme içgüdülerini harekete geçiren bu değerler, tarihin hangi sürecinde ortaya çıkmış olursa olsun, geleceğe akarını yapılmıştır. Anadolu coğrafyası da bu tür bir sorumluluk gerektiren bir potansiyele sahiptir. Önemli doğal zenginlikleri ile kültürel değerlerinin korunarak gelecek nesillere aktarılması, dikkat çeken bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Kültürel açıdan son derece zengin olan Karaman, bu özellikleriyle geçmişte ve günümüzde pek çok medeniyetin ilgi odağı haline gelmiş, çok yönlü ve köklü bir tarihe sahiptir. İlk toplumlardan, Büyük Selçuklulara, Anadolu Selçuklularından Osmanlılara kadar gelişimini sürekli devam ettiren bu medeniyet; mimarisi, geleneksel el sanatları, yöresel üretimleriyle üretilen pek çok eseri, tarih kayıtlarına yazdırmayı başarabilmiştir. Tüm bu sanat eserleri, yapıtlar ve el emeği ürünler, Karaman coğrafyası olarak bilinen topraklarda bölgeye adım adım damgasını vurmuştur. Bu çalışmada, Karaman'da; Bizans Dönemi, Anadolu Selçuklu Dönemi, Osmanlı Dönemi ve özelliklerde Beylikler Dönemine ait pek çok kültürel değere sahip, tarihsel değer taşıyan doğal ve kültürel miras öğelerini barındıran Taşkale Ören Yeri ele alınmıştır. Yapılan incelemeler ve araştırmalar sonucunda elde edilen veriler, Taşkale Ören Yeri'nin zengin bir kültürel potansiyele sahip olduğu belirlenmiş, bu bölgenin yörenin kalkınmasına önemli katkılar verebileceği görülmüştür. Çalışmanın sonucunda, bazı önerilerde bulunulmuştur. Yapılan bu çalışmanın bir sonraki araştırmalara da kaynak teşkil etmesi umulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kültürel miras, doğal miras, sanat, bölgesel kalkınma, Taşkale Ören Yeri, Karaman.

## Karaman Cultural Heritage Values and Taşkale's Place in Regional Development

### Abstract

The social accumulations formed in different geographies on earth in the historical process are defined as cultural heritage. Architectural works such as palaces, mosques, madrasahs, bridges, inns, as well as the unique traditions, customs, and traditions of societies are also of social importance. In addition, formations that emerge as a result of various geographical features are defined as natural heritage. These values, which show the sense of belonging of every society and activate the instinct of ownership and adoption, have been transferred to the future no matter what period of history they have emerged. Anatolian geography also has a potential that requires such a responsibility. Preserving its important natural riches and cultural values and transferring them to future generations is an area that draws attention. Karaman, which is extremely rich in terms of culture, has a versatile and deep-rooted history that has become the focus of attention of many civilizations in the past and today with these features. This civilization, which continued its development from the first societies to the Great Seljuks, from the Anatolian Seljuks to the Ottomans; architecture, traditional handicrafts, many artifacts produced by local productions, were able to be recorded in the historical records. All these works of art, artifacts and handicrafts left their mark on the region, step by step, in the lands known as Karaman geography. In this study, in Karaman; The Taşkale Ruins, which have many cultural values belonging to the Byzantine Period, the Anatolian Seljuk Period, the Ottoman Period and especially the Principalities Period, which contains natural and cultural heritage items with historical value, are discussed. The data obtained as a result of the examinations and researches, it has been determined that Taşkale Ruins has a rich cultural potential, and it has been seen that this region can contribute to the development of the region. As a result of the study, some suggestions were made. It is hoped that this study will be a source for future research.

**Keywords:** Cultural heritage, natural heritage, art, regional development, Taşkale Ruins, Karaman.

\* Sorumlu Yazar: [sdilay@kmu.edu.tr](mailto:sdilay@kmu.edu.tr)

## 1. Giriş

Doğa ve kültür, yüzyıllar boyunca birbirlerini etkileyen unsurlar olmuşlardır. Bu unsurlar, toplumların günlük yaşantılarını, kültürel özelliklerini ve bölgesel kalkınma stratejilerini şekillendirmiştir. Bölgesel kalkınma dinamiklerinin çeşitlilik göstermesi, farklı alanlardaki gelişmelerin tek ve bütüncül yaklaşımlarla ele alınmasını gerektirmektedir [1]. Kalkınmaya katkı sağlayan kültürel değerlerden bazıları; resim, müzik, el sanatları, eğitim, edebiyat, dil, mutfak ve tarihi özelliklerdir [2]. Ayrıca, bölgenin mimari dokusu, yöresel eserleri ve bölgede yaşayan halk, kalkınmaya yön veren unsurlar arasındadır.

Özellikle 20.yüzyılda anlamı genişleyen bölgesel kalkınma kavramı, günümüzde küreselleşmenin ivme kazanmasında önemli bir yere sahiptir. Ekonomik gelişmelerde büyük rol oynayan [3] ve alternatif kalkınmanın unsurları arasında yer alan kültürel zenginlikler, kazanç sağlamanın yanı sıra, bu değerlerin korunmasını da sağlamaktadır [4]. Yapılan çalışmalar ile, bölgesel kalkınmanın sağlanmasında farklı yolların izlendiği görülmektedir [5]. Ayrıca; bazı ulusların diğerlerinde göre daha zengin olmaları, mevcut üretim, sanayi ve teknolojilerinin daha üst seviyede olmasından değil, sosyal ve kültürel açıdan güçlü olmalarından kaynaklanmaktadır [1].

Günümüzde kültürel miras konusu ile ilgili olarak; evrensel düzeyde yasalar, yönetmelikler, anlaşmalar ve protokoller mevcuttur. Dünya Mirası Eğitim Programı (World Heritage Education Programme) etkinliklerinde; koruma alanlarını, çeşitli kültürler, tarih, gelenekler, çevre, doğa, ekoloji ve biyo çeşitliliğin korunması konuları ele alınmaktadır. 2017 yılı itibariyle bu konuyla ilgili evrensel, ulusal ve bölgesel seminerler ve çalıştaylar verilmektedir [6]. Kültürel mirasın korunması, Çevre ve Kalkınma Komisyonu raporunda, bugünün ihtiyaçlarını karşılamak olarak tanımlanmaktadır [7]. Kültürel, tarihsel ve bölgesel açıdan dünya genelinde faaliyetlerde bulunan ICOMOS ise, uluslararası bir organizasyon olup, amacı tarihi anıtlar ile siteleri korumak, değerlendirilmesine yönelik ilkeler geliştirmek ve konuyla ilgili tüm araştırmaları destekleyerek yönlendirmektir (<http://www.icomos.org.tr/>). Böylece, bölgesel kalkınmada kültürel mirasın korunması sağlanırken, geleceğe yönelik öngörüler ile geçmiş hakkında düşünsel bir bakış açısı kazandırmaktadır.

Türkiye’de yer alan bazı kültürel değerlerin UNESCO Dünya Kültür Mirasını Koruma listesinde bulunduğu bilinmektedir. Örneğin; Göreme Ulusal Tarihi Parkı içindeki Göreme Açık Hava Müzesi ve yakın çevresi bu listede yer almaktadır [8]. Karaman Taşkale Ören Yeri’nin, Manazan mağaraları ve tahıl ambarları olarak bilinen bölgenin de doğal ve kültürel miras potansiyeline sahip olması nedeniyle, bu düzeyde evrensel değer kazanması, arzu edilen hedefler arasındadır. Bölgenin günümüzdeki değerinden çok daha fazlasını hak ettiğini söylemek doğru olacaktır.

## 2. Material ve Metot

Karaman, coğafi açıdan ele alındığında, Türkiye’nin İç Anadolu Bölgesi’nde bulunmaktadır. Tarihte olduğu gibi, günümüzde de büyük öneme sahiptir. Uzun yıllar boyunca bölgenin ekonomi, kültür, sanayi, ticaret ve sanat merkezi olmuştur. Karaman ve çevresi; tarihi yapılara, inanç merkezlerine ve mağaralara ev sahipliği yapan bir yerdir (Şekil 1).



Şekil 1. Karaman haritası

<https://www.turkiye-rehberi.net/karaman-haritasi.asp>

Bu araştırmanın materyalini Karaman İli oluşturmaktadır. Çalışma, Karaman ve çevresindeki Taşkale Ören Yeri, Karadağ’da bulunan geçmiş uygarlıklara ait yerleşim alanları ve şehir merkezinde bulunan bazı tarihi yapılar ile sınırlıdır. Araştırma kapsamında yapıların, coğrafi ve tarihsel dokuları incelenmiştir. Bölge halkının yaşayışı, gelenek-göreneklere, yöresel özellikleri belirlenerek, bunların bölge kalkınmasına olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda geniş bir literatür taraması yapılmış, yazılı ve görsel belgelerden yararlanılmış, bölgeye defalarca teknik geziler yapılmıştır. Bu gezilerde, bölge halkı ile yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiş ve bunlar kayda alınmıştır. Tarihsel ve kültürel belgelere ulaşmak, gözlemlenmek ve veriler elde etmek, bilimsel bir araştırmanın koşulları arasındadır. Yapılan araştırmalarda, bölgede pek çok tarihi, arkeolojik, kültürel, estetik, sosyal ve toplumsal değerlerin bulunduğu görülmüştür.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Kültürel Mirasın Önemi

Geçmişin birikimleri olarak algılanabilecek bir kavram olan kültürel miras, genel açıdan somut ve somut olmayan değerlerin tamamını kapsamaktadır. Somut kültürel mirasın büyük bir kısmını oluşturan mimari eserler, diğer kültürel mirasa sahip öğeleri de barındırmaktadır [9]. Tarihi izlerin geleceğe taşınması şeklinde ifade edilebilmesinin yanı sıra, sahiplenme içgüdüsunü bünyesinde barındıran miras algısında, kültürel nesnelere yalın doğallıklarının ötesine geçmektedir. Kültürel miras olarak tanımlanabilen nesnelere, toplumsal boyutta gelişen bireysellik içermektedir [10]. Bu nesnelere yalın doğallıklarından sıyrılıp, sıradanlıktan uzaklaşarak, yeni bir değer kazanmalarına katkı sağlaması, topluma mal olan milli değerler potansiyeli niteliği kazanmaktadır.

Çeşitli toplumların, içinde barındırdığı, binlerce yıl öncesinde ortaya çıkmış olan somut ya da somut olmayan varlıklar, kavramlar ve olgular da kültürel miras şeklinde tanımlanmaktadır. Bu kültürel değerler, taşınır ve taşınmaz kültür varlıkları olarak sınıflandırılmaktadır. Özellikle günümüz evrensellik çağında, kültür turizminin gelişimini ve sürdürülebilirliğini sağlamak için bu kültürel mirasların korunması büyük önem taşımaktadır [11]. Böylece, sürdürülebilir bölge kalkınmasının sağlanabilmesi ile kentsel yaşam kalitesinin iyileşebileceği söylenebilmektedir [12]. Yaşam kalitesini artışı,

çevresel faktörlerle ivme kazanmaktadır [13]. Özellikle günümüzde çevresel farkındalığın geliştirilmesi, sürdürülebilir ve yararlı davranışların edinilmesi, doğal imkânların, tarihi ve kültürel değerlerin korunması gibi konular, kültürel mirasa sahip çıkmak ve koruyarak gelecek nesillere aktarmak için gereklidir.

### 3.2.Karaman ve Çevresindeki Kültürel Miras

#### Potansiyeli

#### Karaman Kalesi

Geçmişindeki tarihsel çeşitlilik, Karaman'ın zengin tarihi ve kültürel bir mirasa sahip olduğu anlamına gelmektedir. Karaman Kalesi'nin yer aldığı bölgenin, literatürde Karaman Höyük olarak geçen yerleşim olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca, M.Ö. 2500 yıllarına tarihlendirilen İlk Tunç Çağı'na ait ve günümüzden en az 4500 yıl öncesine dayanan bir yerleşim merkezi olduğunu da belirtmektedir [14]. Karaman merkezinde yer alan Karaman Kalesi'nin üzerinde bulunduğu bölgenin Neolitik Döneme ait bir höyük olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca, Hititler döneminde buranın, Larende kelimesini anımsatan Lalanda ya da Lanta olarak adlandırıldığı, M.Ö. 8000'lerden beri burada insanların yaşadığı belirtilmektedir [15].

Yapılan araştırmalarda, Karaman Kalesi'nin genel itibarıyla üç bölümden oluştuğu, ancak dış kale bölümünden herhangi bir kalıntının günümüze ulaşmadığı ifade edilmektedir. (Şekil 2). Orta kale bölümünün, kimi sağlam alanları ile iç kale bölümünün tamamı günümüze kadar sağlam ve ayakta kalabilmiştir. 12. yy'da Selçuklular tarafından yapılmış olan Karaman Kalesi, Karamanoğulları Dönemi'nde onarım görmüştür. Ancak onarımda Karaman'da bulunan diğer yapılardan elde edilen taşlar ile geliş güzel [16]. Bu durum, günümüzde kale duvarları üzerinde bulunan pek çok yazılı taşın ters ve düzensiz olarak yerleştirilmiş olmasından anlaşılmaktadır.

Ayrıca Karaman Kalesi ve etrafında yapılan çevre düzenlemeleri ve peyzaj çalışmaları, bölgeye tarihsel bir anlam ve kültürel bir önem kazandırmaktadır [17].



Şekil 2. Karaman Kalesi.

Karaman Kalesi, tarihsel geçmişi, kültürel önemi ve konumu nedeniyle günümüzde de bölgesel kalkınmaya katkı sağlayabilecek bir potansiyele sahiptir. Mevcut işlevselliğinin yanı sıra, akademik ve bilimsel çalışmalara ev sahipliği yapabilecek, turistik açıdan da yerli ve yabancı ziyaretçilere kapılarını açabilecek durumdadır. Günümüzde şehrin kültürel ve mimari mirasının önemli unsurlarından olan Karaman Kalesi'nin teşhir ve tanzım programı çerçevesinde açık hava müzesi olarak kullanılması söz konusudur. Ayrıca, höyüğün tamamının açık hava müzesine dönüştürülerek, bölgesel kalkınmaya katkı sağlayabileceği de ifade edilebilir.

#### Çeşmeli Kilise

Karaman İl Merkezindeki Çeşmeli Kilise, Karadağ Binbir Kilise'de bulunan küçük bazilikaların bir örneğidir (Şekil 3). Bizans Dönemi'ne ait olan eserde, yapı ögesi olarak kullanılan kesme taşlar, bölge nitelikler taşımaktadır. Bizans Dönemi'ne ait olan yapı, 1980 yıllarına kadar cezaevi olarak kullanılmıştır (https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/karaman/gezilecek yer/c esmeli-kilise). Dış görünüşünü koruyarak iç mekâna çeşitli ayrıntılar eklenmiştir. 2007 yılında restore edilen kilise, Kültür ve Turizm Bakanlığı'na tahsis edilmiştir. Restore edildikten sonrası kilise günümüzde, çeşitli sanat etkinlikleri, sergiler, toplantılar, şiir ve müzik dinletileri gibi kültürel faaliyetlerin yapıldığı tarihi bir mekân olarak değerlendirilmektedir [18]. Bölgesel kalkına açısından sanatsal ve kültürel olarak önemli bir mekândır. Mevcut işlevselliğinin yanı sıra, çeşitli akademik çalışmalar yapılabilecek imkânları taşımaktadır. Ayrıca bölge halkının çeşitli amaçlarla yararlanabileceği bir yapıdır. Yapıyı ziyaretler sırasında ışık düzeyi, iç mekân özellikleri gibi unsurların pek çok etkinliğe uygun olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Çeşmeli Kilise.

#### Tartan Evi

Çeşitli kaynaklarda Tartan Konağı şeklinde de tanımlaması yapılan ev iki katlı bir mimari yapı özelliği göstermektedir. Yapı hem mutfak, kiler ve buzhane gibi alanlardan oluşan günlük yaşama uygun bir düzene, hem de konuk ağırlama ve oturma alanlarına sahiptir. Üzerinde bir ejder başı olan büyük bir kapıdan girilen yapıda, inşa malzemesi olarak Binbir Kilise'den getirilmiş taşlar kullanılmıştır. Sağlı sollu odaların bulunduğu Tartan evi, haç biçimli bir plana sahiptir. Dış cephe saman ve çamurla, iç duvarlar, saç kılı, yumurta gibi maddelerin çamura karıştırılmasıyla sıvanmış, çatısı ise toprakla sıkıştırılmıştır (Şekil 4). Yapıda bulunan kapılar, ahşaptır. Yapının üst katında bulunan alçı aynalıkların üzerinde bitkisel motifli süslemeler bulunmaktadır (https://karaman.ktb.gov.tr/TR-129501/tartan-evi.html). Genel olarak değerlendirildiğinde plan ve bezeme olarak İstanbul evlerine benzeyen yapıdaki süslemelerin, Beylikler Dönemi yapılarından olan Dikbasan Camisi ile iç mekân açısından benzerlik gösterdiği söylenebilir.

Türk aile yapısına göre planlanmış olan geleneksel Türk evleri, ailenin tüm fertlerine her açıdan hitap eden bir kullanım özelliği göstermektedir. Günümüz yaşam biçimlerindeki değişiklikler, geleneksel aile hayatını ve barınma anlayışını da şekillendirmektedir. Ancak geçmişte var olan mimari özellikleri ve barınma anlayışlarını görebilmek mümkün olmaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilirlik ve geçmişi canlı tutabilmek amacıyla bu



tip yapılar, çeşitli açılardan bölge kalkınmasına katkı sağlayabilmektedir. Bu mimari yapılarda, mevcut işlevlerinin yanı sıra, yılın belli zamanlarında çeşitli turistik etkinliklere, akademik faaliyetlere veya farklı kültür-sanat etkinliklerine yer verilmektedir. Ayrıca çevre illerden ziyaretçiler davet edilip, yöresel gelenek ve görenekler de tanıtılmaktadır.



Şekil 4. Tartan Evi

#### Aktekke Camii

1370 yılında Alaaddin Bey tarafından yaptırılmış olan Aktekke Camii Karaman merkezdedir. Dönemin en yaygın yapı malzemesi olan kesme taş kullanımı yapıya doğal bir doku özelliği kazandırmıştır (Şekil 5). Yapısal açıdan değerlendirildiğinde caminin, merkezde yer alan bir kubbesi ve klasik Osmanlı örneklerinden olan yüksek minaresi bulunmaktadır. Caminin içerisinde Mevlâna Hazretleri'nin annesi, kardeşi başta olmak üzere yakınlarının mezarları vardır. Caminin iç kısımlarında Klasik Osmanlı Dönemi kalem işi bezemelerine rastlamak mümkündür [19].



Şekil 5. Karaman Aktekke Camii

Yapı şehir merkezinde bulunması ve sağlam bir şekilde ayakta duruyor olmasından dolayı günümüzde de işlevselliği devam etmektedir. Karaman'a gelen ziyaretçilerin en uğrak mekânlarından olması nedeniyle bölge kalkınmasına büyük katkı sağlamaktadır. Konya'ya, Mevlâna Celaleddin Rumi Hazretleri'nin mezarını ziyarete gelenlerin, Aktekke Camii'ni de ziyaret etmeleri için yönlendirmesi, bölge kalkınmasını daha da güçlendirecektir.

#### Hatuniye Medresesi

Osmanlı Sultanı Murat Hüdavendigâr'ın kızı, Karamanoğlu Alaaddin Bey'in karısı Nefise Sultan tarafından, 1382 yılında yaptırılmıştır. Yapının giriş kapısında oluklu gök mermerden iri söve taşlar bulunmaktadır (Şekil 6). Taç kapısı, Karamanoğulları devri mimarisinin günümüze ulaşan en önemli eserlerinden biridir [20]. Geniş taç kapı, birbirine geçmeli taşlarla biçimlenmiş, kemer başlangıcı ve kilit taşı bezenmiştir [21]. Hem mimarisi hem de bulunduğu mevki açısından, kentnin dikkat çekici yapıları arasında yer almaktadır. Medrese, revaklarla çevrili açık avlu, tek eyvanlı, sağlı sollu öğrenci odalarının bulunduğu dönemsel bir yapı niteliği taşımaktadır. Yapı malzemesi olarak kesme taş kullanılan medresede, süsleme özellikle büyük taç kapısında, kapı ve pencere sövelerinde, eyvan kemerlerinde ve öğrenci odalarının girişlerinde kendisini göstermektedir. Süslemelerde geometrik ve bitkisel motiflerin yanı sıra, rumiler, palmeler ile yazılar süslemenin esas düzenini oluşturmaktadır. Günümüzde sergi alanı, toplantı salonu, şiir ve müzik dinletileri gibi etkinliklerin yapıldığı Hatuniye Medresesi aynı zamanda Karaman Müze'sinin yanında yer almaktadır.



Şekil 6. Hatuniye Medresesi

#### Çeşmeler ve Hamamlar

Su kültürü, insanoğlunun hayatına yön veren, yaşam biçimini şekillendiren ve gelişmişlik düzeyini belirleyen en önemli unsurlardandır. Hayat, temizlik ve arınma olarak algılanan su, yüzlerce yıl vazgeçilmez bir yaşam kaynağı olmuştur. İnsanoğlu ilk çağlardan itibaren su kaynaklarının yakınlarına yerleşme gereksinimi duymuş, zamanla su, bir medeniyet göstergesi olmuştur.

Su kültürü denildiğinde ise, akla ilk gelen unsurlar, çeşme ve hamam yapılarıdır. Karaman'da, özellikle Osmanlı Döneminden kalma çok sayıda çeşme ile birkaç adet hamam (Şekil 7) bulunmaktadır. Çeşmelerin birçoğunun üzerinde kitabesi vardır. Üzerindeki süslemeler yapıldığı dönemin sanatı hakkında fikir vermektedir. Çeşmelerin bazıları bağımsız, bazıları ise bir yapıya bitişik bulunmaktadır [22]. Hamamlar ise zaman içerisinde restorasyon çalışmaları ile yenilenmiş ve günümüzde kullanılır durumdadır. Yapılan gözlemler sonucunda hamamların günümüzde de işlevselliklerini korudukları görülmüştür.





**Şekil 7. Karaman Hamamlarından Örnek**

Hamamların, Türklerde su kültürünün en önemli yapıları arasında yer alması, bu yapıların hem kullanım hem de mimari yapı özelliklerinin sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Osmanlı Dönemi'ne ait hamam yapılarının bu nedenlerle bölgesel kalkınmaya katkı sağlayabilecekleri düşünülmektedir. Geçmişteki gelenek, görenek ve kültürel unsurların günümüze taşınması, geleceğe aktarılabilmesini de sağlamaktadır. Böylece kültürel unsurlar yaşatılabilecektir. Bölgesel kalkınmanın en önemli noktası tarihsel öğelerin canlı tutulabilmesiyle alakalıdır.

#### **Karadağ**

Karadağ, 4.-11. yy' lar arasında yapılmış çok sayıda kilise, manastır, anıt mezar ve tarihi yapıların bulunduğu bölgedir. Geç antik dönemde Avrupa'dan Kudüs'e giden hacıların uğradığı, Hıristiyanlıktaki en önemli üç dini merkezden birisi sayılmaktadır. Tepesinde ve eteklerinde pek çok yerleşim yeri bulunan Karadağ, sönmüş bir yanardağ olarak mevcudiyetini korumaktadır. Karadağ kültesinin üzerinde araştırmacıların her dönem dikkatini çekmiş olan çeşitli tarihi kalıntılar bulunmaktadır. Günümüzde hem yerli ziyaretçilerin hem de yabancı turistlerin merakını cezbeden Binbir kilise harabelerinin temel olarak Madenşehri, Yukarı Ören ve Değle Öreni olmak üzere üç ana bölümde incelenebileceği ifade edilmektedir. [23]. Bunlar, genel olarak yapıldıkları döneme ait işlevlerini koruyamamışlar, antik kalıntılar olarak günümüzde son derece ilgi çekici özelliklere sahiptir. Ayrıca bu tarihi bölgede, doğal yaşamın paydaşları olan yalın atları da seyirlik manzaralar ortaya koymaktadır (Şekil 8 ve 9).

Bizans Dönemi'nde bölgenin en önemli dini merkezlerinden olan Binbir Kilise, Karadağ'ın eteklerinde Maden Şehri köyünün etrafında bulunmaktadır. Büyük bir kısmı mezar yapılarından meydana gelen bölge, Hititler Dönemi'nde de kutsal kabul edilmiştir (<https://karaman.ktb.gov.tr/TR-129387/karadag-binbir-kilise.html>). Pek çok kilise ve manastır içinde barındıran bölgedeki, dini ve askeri yapıların Anadolu'nun kültürel özellikleri açısından oldukça büyük bir önem taşıdığı söylenebilir.



**Şekil 8. Binbir Kilise**



**Şekil 9. Madenşehri Bölgesi Kalıntıları**

Karaman'ın Karadağ bölgesi üzerinde yer alan Değle Ören Yeri'nde bulunan yapılardan, Bizans Dönemi ev mimarisi hakkında bilgilere ulaşmak mümkündür (<https://karaman.ktb.gov.tr/TR-129570/degle-oren-yeri.html>). 2 ya da 3 odalı yapılmış olan bu konutlar dini mimari yapılara kıyasla sadece ihtiyacı karşılamaya yönelik, oldukça yalın ve sade bir şekilde inşa edildiği görülmektedir. Genellikle kesme taşla inşa edilmiş mezar yapıları olan, kaya mezarları, mezar kapakları bulunmaktadır. Ayrıca, yapılar arasında kaya mezarlarına dönüştürülmüş bir sunak bulunmaktadır. Yapılan kazılarda kaya üzerinde bir kabartma sahnesine ulaşılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Bizans Dönemi Kaya Mezarlarındaki Kabartma Sahne

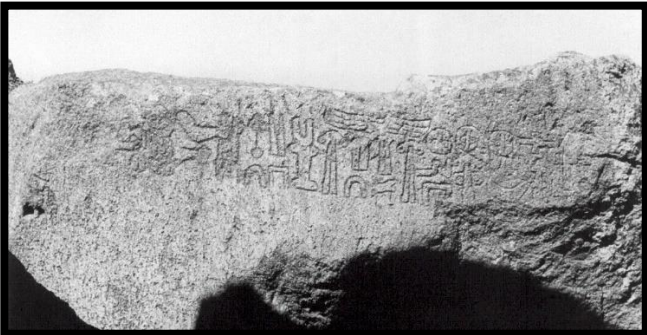
<https://karaman.ktb.gov.tr/TR-129570/degile-oren-yeri.html>

Pek çok köy arasında yer alan diğer bir bölge de, Derbe Antik kenti'dir. Bu bölge kaya kiliseleri ve mağaralarıyla dikkat çekicidir (Şekil 11). Aziz Paul'un bu bölgeye gelmesi, bu bölgenin Hıristiyanlığın çıkış yerlerinden olması, antik bir yol ile direkt olarak Lystra'ya bağlanması gibi nedenlerden dolayı bu bölgenin de önemi büyüktür.

Üzerlerinde çok sayıda kalıntı bulunan tepelerden birisi de Karadağ'ın en yüksek noktasını oluşturan 2288 m yüksekliğindeki Mahalaç Tepesi'dir [24]. Bu bölgede kesme taştan inşa edilmiş bir kilise vardır. Bu kiliseye taş dehlizlerle bağlanmış olan bir mezar şapeli ile kilisenin batısında manastır ve sarnıçlar yer almaktadır. Mahalaç kilisesi olarak adlandırılan bu yapının özelliği, üç taraftan beşik tonozlarla desteklenen ortadaki kare mekânın üzerinin bir kule şeklinde yükselmesi ve üstünün kubbe ile örtülmesidir. 4-6. yüzyıllar arasına tarihlendirilmektedir [25]. Mahalaç kiliseninde büyük bir kaya üzerinde, Hitit Kralı Hartapus'un adının geçtiği Hitit Hiyeroglifiyle yazılmış bir kitabe bulunmaktadır (Şekil 12).



Şekil 11. Derbe Antik kenti



Şekil 12. Hitit Hiyeroglifi

Karadağ, tarihsel yerleşim yerlerinin bölgeye kazandırdığı canlılığın yanı sıra, ziyaretçilere de çeşitli aktivite olanakları sunabilmektedir. Bölgenin coğrafi yapısının elverişliliği, çeşitli sportif faaliyetlere imkan sağlamaktadır. Örneğin alternatif bir turizm faaliyeti olan yamaç paraşütü etkinlikleri, 2010 yılında yapılmış ve Karadağ'dan havalanan paraşütçüler 242 ve 262 kilometrelik uçuşlarla iki pilot tarafından ayrı ayrı Türkiye rekoru kırılmıştır. Bunun üzerine dünyanın çeşitli yerlerinden yamaç paraşütü pilotları Karaman'a gelerek uçuş yapmaktadırlar (<https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/karaman/TurizmAktivite/eler/karaman-karadagda-yamac-parasutu>).

Karadağ'ın, sadece ülkemizin değil tüm dünyanın havacılık sporu açısından en uygun parkurlarından biri olduğu söylenebilir. Uzun ve güvenli uçuşlar için çok uygun coğrafi yapısıyla bir cazibe merkezi haline gelmiştir.

### 3.3. Karaman Taşkale Ören Yeri

Taşkale Ören Yeri olarak adlandırılan alan İbrala (Yeşildere), Manazan Mağaraları, Tahıl Ambarları, Taşkale Köy Merkezi, Kızıllarağını Köyü ve İncesu Mağarası'ndan oluşmaktadır. Türkmen Yörüklerinden Kızıllar aşiretinin, bu köye yerleştirilmesiyle köy Kızıllar adıyla anılmıştır [26]. 1924 yaşanan mübadele sonucunda ise, Karaman'daki Hristiyanlar, Taşkale'den Yunanistan'a göç etmişlerdir [27]. Sonrasında Kızıllar Köyünün adı 1952 yılında değiştirilmiştir.

Taşkale, yüzyıllar boyunca ortaya çıkmış doğal oluşumları ve kültürel zenginlikleri ile ziyaretçilerin ilgi odağı olmuştur.

#### İbrala (Yeşildere)

Yunus Emre'nin öz yurdu olarak bilinen İbrala, Yeşildere olarak bilinmektedir. Köy içerisinde Bizans Döneminde kilise olarak inşa edilmiş daha sonradan da camiye dönüştürülmüş bir yapı bulunmaktadır. Camide mimari yapı elemanı olarak kesme taş, minaresinde ise sırsız pişmiş tuğla kullanılmıştır (Şekil 13).

İbrala'da her yıl 5-6 Ağustos tarihleri arasında Yunus Emre'yi Anma Etkinlikleri düzenlenmektedir. Etkinliğin Yunus Emre konulu paneller yapılarak, bölge halkı ve çevre yörelerden gelenlere tanıtılmaktadır. Birçok sanatçının sahne alması, yöresel oyunlar, çeşitli sergilerin düzenlenmesi ve spor faaliyetleri gibi etkinlikler düzenlenmektedir.



Şekil 13. İbrala Köy Meydanında Bulunan Cami

#### Manazan Mağaraları

Yapılan araştırmalarda, tamamen insan eliyle oyulmuş olan bu çok katlı yerleşim alanının güvenlik sağlamak amacıyla oyulduğu sanılmaktadır [28]. Manazan mağaraları yeryüzünde, mevcut ilk manastırlar arasında yer almaktadır. İbrala adı verilen



bölgede doğal kayaların içlerine oyulmuş olan 5 katlı dehlizler toplu mesken yerleridir. Bu mağaraların Bizans Dönemi'ne ait bir yerleşim yeri olduğu ön cephede bulunan bir şapelden anlaşılmaktadır. Mağara çok katlı olup, giriş katı, kum kale, at meydanı ve ölü meydanı gibi kısımlardan oluşmaktadır (Şekil 14).



Şekil 14. Manazan Mağaraları ve At Meydanı

Her katın ortasında düzenli bir şekilde işlenmiş geniş ve uzun salonlar bulunmaktadır (Şekil 15). Dışa açılan pencerelerden içeriye ışık ve hava girmektedir. Bölgeye doğal bir güzellik kazandıran bu kültürel değer, çevresindeki alanın da elverişli olması nedeniyle, günümüzdeki işlevselliğinin yanısıra açık hava müzesi olabilecek imkânlarla da sahiptir. Çevresiyle birlikte anlam taşıyan bu mağara, çeşitli kültür-sanat faaliyetleri ve doğa yürüyüşleri gibi etkinliklerle daha fazla ziyaretçi kabul ederek, bölgesel kalkınmaya katkı sağlayacaktır.



Şekil 15. Manazan Mağaraları

Manazan mağaralarında yapılan kazılar sonucunda çıkarılan mumya, halen Karaman Müze'sinde sergilenmektedir (Şekil 16).



Şekil 16. Manazan Mağaralarından Çıkarılan Mumya

Arkeolojik araştırmalar sonucunda, Geç Roma, Erken Hıristiyanlık, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerine ait buluntulara rastlandığı ifade edilmektedir (Şekil 17). Mağaralarının içerisinde bulunan seramik kalıntıları ve diğer bazı parçalar bu bölgede Roma ve Erken Hıristiyanlık dönemlerine ait yaşam belirtilerinin olduğunu göstermektedir [29].



Şekil 17. Manazan Mağaraları Deniz Kabuğu fosilleri (Kişisel arşivden)

#### Taşkale Köy Merkezi

Taşkale köyü, Geç Roma ve Erken Hıristiyanlık dönemlerine tarihlenmektedir. Hıristiyanlık dininin yasak olduğu ilk dönemlerde saklanmaya uygun bir yapıya sahip olması nedeniyle, önemli yerleşim merkezlerinden olduğu söylenebilir.

Köy merkezine yapılan ziyaretlerde ve köy halkıyla yapılan görüşmelerde, bölge insanının üretime teşvik edilmesi, daha rahat bir yaşam için imkânların sağlanması ve özellikle de çocukların eğitim alabilecekleri okulların atılmasıyla ilgili konular dile getirilmiştir (Şekil 18). İklim ve coğafî koşulların bu denli elverişli olduğu bölgede kesintisiz bir üretim yapılabileceği, aynı zamanda da doğal ve kültürel öneme sahip olan yerlerin tanıtımında kitle iletişim araçlarının yaygın olarak kullanılması gerektiği de bölge insanı tarafından dile getirilmiştir.



Şekil 18. Köy Halkı (Kişisel arşivden)

### Taşkale Halıcılığı

Bölgede, Kızıllar Halısı olarak dokunan halılarda, yaklaşık 40 desen kullanılmaktadır. Geçmişte halıdan başka, yastık, heybe, çanta, seccade v.b. ticari ve kalkınma amacıyla dokumalar yapılmıştır. Halılarda doğal ve kök boyalar ile kendi yetiştirdikleri hayvanların yününden ürettikleri dokuma iplikleri kullanılmaktadır (Şekil 19). Geometrik ve bitkisel desenlerin kullanıldığı Taşkale halılarında, motifler genellikle sarı ve kırmızı renklindedir.

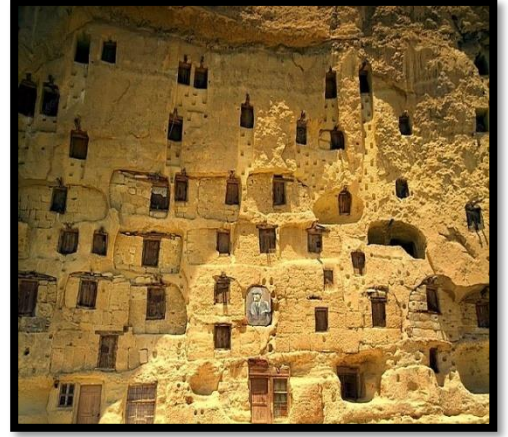


Şekil 19. Taşkale halısından örnekler

Geçmişten günümüze süregelen değerler, kültürel kimliğimize oluşturmaktadır. Kimlik bir toplumun varoluş simgelerindedir. Yöresel el sanatlarında üretimin devamlılığı, geçmişi geleceğe taşımanın en etkili yollarındandır. Bu nedenle, bölgesel kalkınmada el sanatlarının da rolü oldukça önemlidir. Karaman Taşkale halılarının, yöresel olduğu kadar evrensel düzeyde oluşu, bölge halkının istihdamına fayda sağlayacağı gibi, aynı zamanda bölge kalkınmasına da katkısı olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle günümüzde Taşkale halılarının üretimine yeniden ivme kazandırılması ve bu sanat dalının tekrardan canlandırılması bölge kalkınması açısından oldukça önemlidir.

### Tahıl Ambarları

Taşkale köyünün kale görünümü oluşu, kayalardan ve tahıl ambarlarından meydana gelmesi nedeniyle, Taşkale olarak adlandırılmaktadır [30]. Hıristiyanlık Dönemi'nden bu yana kullanıldığı kabul edilen, 250'den fazla tahıl ambarının yüksekliği 165 metre uzunluğundadır. Kaya kütesinin üzerine, içine oyulmuş olan nişlere tutunarak çıkılmaktadır. Tahıllar, tek veya iki odalı olarak oyulmuş olan ambarlara makara sistemi ile taşınmaktadır. Bölgenin tarihsel dokusuna olumlu katkı sağlayan bu oyuntular, işlevsel olduğu kadar, görsel bir zenginlik sağlamaktadır. Yüzlerce yıl ayakta kalabilen, geçmişte ve günümüzde aynı amaca hizmet eden bu yapılar, sadece görsel açıdan bile bölgesel kalkınmaya fayda sağlamaktadır (Şekil 20).



Şekil 20. Tahıl Ambarları

Bu nedenle yapı sadece işlevselliği değil, aynı zamanda doğal dokusu nedeniyle de oldukça dikkat çekicidir. Mimari özellikleri nedeniyle yapı, günümüzde hem yerli hem de yabancı ziyaretçilerin ilgi odağı olmaktadır. Çeşitli belgesellere, yarışmalara, tanıtım programlarına konu ve mekân teşkil eden tahıl ambarlarının bulunduğu alan, önemini her zaman korumaktadır. Hatta çok yakın bir tarihte ulusal bir kanalda yayınlanan "MasterChef" adlı yarışma, programına ev sahipliği yaparak, bölgenin tanıtımı ve kalkınmasında önemli bir rol oynamıştır. Tahıl ambarlarının Karaman'ın bölgesel kalkınmasında ilk sıralarda yer alabileceği söylenebilir.

Tahıl ambarlarının yer aldığı bu büyük kaya kütesinin içerisine, günümüzde mescit olarak kullanılan bir yapı oyulmuştur. Yaklaşık 300 kişi alan bu yapının, ilk Hıristiyanlık döneminde, şapel olarak yapıldığı tahmin edilmektedir. Taşa oyulmuş mihrabı, dışarıya açılan üç penceresi ve taş basamaklı merdivenleri bulunmaktadır (Şekil 21).





Şekil 21. Taş Mescit

### Kızıllarağini Köyü

Taşkale köyüne yaklaşık 2 km. mesafededir (Şekil 22). Eski Türklerde güney tarafa kızıl yön denilmekte olduğundan, Asya'dan gelen Türk boylarının kurdukları köyler arasında kızıl takılı pek çok yerler veya yöreler vardır. Kızıllar adı Kuzey Asya Türk boylarından birisinin karakteristik adıdır [31]. Ağın sözü ise, öz Türkçe bir terimdir. Yakın olmak, bağlılık anlamlarındadır. "Kızıllarağini" ise kızılılara bağlı, onların bir kolu anlamına gelmektedir. Pek çok Türk boyları, geldikleri ana yurtlarındaki, şehir veya kasabalarının ya da oymaklarının adlarını Anadolu'da yeni kurdukları yurtlarına bir hatıra olarak vermişlerdir. Sibiry'a'dan gelen Türkler de Kızıllarağini'nin ismini kullanmışlardır. Hatta ulu önder Mustafa Kemal Atatürk'ün buradan Selanik'e göç ettiği bilinmektedir [31]. Bunun bilinirliğinin yaygınlaştırılması, turizm hareketliliğine olanak sağlayacaktır. Bu durum, Karaman'da yerel yönetimlerin çabalarıyla ivme kazanmıştır.



Şekil 22. Kızıllarağini Köyü

### İncesu Mağarası

Tarih öncesi çağlardan itibaren barınma ve korunma amacıyla kullanılmış olan mağaralar, insanlık açısından önemli bir yere sahiptir. Mağaralar zaman içerisinde doğal oluşumlar nedeniyle çeşitli özellikler kazanmışlardır. Karaman'da yer alan İncesu mağarası da doğal özellikleri nedeniyle günümüzde her kesimden ziyaretçinin ilgisini çekmektedir. Doğal kültür varlığı özelliği gösteren İncesu Mağarası, yaklaşık 1356 metre uzunluğundadır (<http://www.karaman.gov.tr/incesu-magarası>).

Taşkale kasabasının İncesu deresinin yakınında yer alan mağarada, çok sayıda sarkıt ve dikit görsel bir zenginlik sergilemektedir (Şekil

23). Kaya sığınaklarının bulunduğu bölümde, Roma Dönemi'ne ait küçük bir yerleşimin bulunduğu dair izler mevcuttur.



Şekil 23. İncesu Mağarası

Mağaranın içerisinde yaklaşık 1100 metrelik ahşap ve metal yürüyüş yolları bulunmaktadır. Yolların bitiminden sonra yaklaşık 150-200 metrelik bir kısım daha bulunmaktadır. Mağara içerisindeki su seviyesinin bahar aylarında yükseldiği yöre halkı tarafından ifade edilmektedir. İncesu Mağarasının giriş kısmının bulunduğu yerin rakımı yaklaşık 2200 metredir. İncesu Mağarası'nın kapısında bulunan tabelada, mağaranın yaklaşık 2 milyon yıl önce oluşmaya başladığı ve astım hastalarına iyi geldiği ifade edilmektedir.

1992 yılında birinci derece doğal sit alanı olarak ilan edilen, 2013 yılında da kapılarını ziyaretçilere açan İncesu Mağarası, oluşumu devam eden sarkıtlar, dikitler ve traverten havuzlarıyla her yıl 50 bine yakın doğaseveri ağırlamaktadır.

Bölgeye yapılan kişisel ziyaretlerde elverişli bir iç mekân özelliği gösterdiği görülmüştür. Önemli bir doğal miras olan mağaranın çevresi, özellikle doğa kampı olarak kullanılmaya uygun bir özelliğe sahiptir. Ziyaretçilere yönelik hediyeelik eşya satış alanları ve mesire yerlerinin de yapılması, günümüzde ve gelecekte de bu mağaranın bölge kalkınmasına katkısının sürekli olacağına işaret etmektedir. Doğal miras niteliği taşıyan mağara tüm bu özellikleriyle sürdürülebilir bir ziyaret potansiyele sahiptir. Bu nedenle bölge kalkınmasına kesintisiz bir şekilde katkı sağlayabilmektedir.

### 3.4. Taşkale Ören Yeri'nin Bölge Kalkınmasındaki Önemi ve Öneriler

Çalışmanın araştırma sürecinde referans alınan envanterler ışığında, bölgeye yapılan ziyaretler, bölge halkıyla yapılan görüşmeler sonucunda, Taşkale Ören Yeri'nin bölge kalkınmasına önemli katkılar sağladığı söylenebilir.

Taşkale, coğafi ve iklimsel koşulları açısından yılın her döneminde ziyaretçilere açıktır.

Bölgede bulunan önemli kültürel ve doğal değerlerin yanı sıra, yöresel ve tarım ürünlerinin tanıtılması amacıyla yılın belli dönemlerinde geniş katılımlı yarışma, festival, tanıtım günleri gibi etkinlikler yapılması da bölgeye önemli katkılar sağlayacaktır.

Yılın belli dönemlerinde çevre ve doğa yürüyüşleri, sağlıklı yaşam etkinlikleri ve gençlik kampları önerilebilecek önemli başlıklar arasında yer almaktadır.

Akademik düzeyde bölgede yapılabilecek sempozyum, panel, çalıştay ve workshop gibi faaliyetler bölgenin hem

tanınırlığını arttıracak hem de bölge kalkınmasına önemli katkılar sağlayacaktır.

Çeşitli amaçlarla öğrenci katımlı ziyaretlerin bölgeye düzenlenmesi, bölgeyi farklı bir açıdan kalkındıracaktır.

#### 4. Sonuç

Kültürel mirası oluşturan değerler ve yöresel zenginlikler, bölgenin önem kazanmasında ve kalkınmasında büyük rol oynamaktadır. Geçmişten günümüze kadar devam eden mevcut toplumsal, tarihsel ve kültürel birikimlerin yaşatılması, devamlılığının sağlanması ve geleceğe aktarılması, mekânsal ve zamansal açıdan sürdürülebilir bir yaklaşım oluşturmaktadır [32]. Kültürel ve doğal mirasın bölge tanımı üzerinde sosyo-ekonomik durum, bölgesel ve toplumsal kalkınma, ortak kültürel değerlere sahip çıkma duygusunu geliştirme gibi birçok olumlu etkileri olduğu söylenebilir [33].

Önemli kültürel mirasları da bünyesinde barındıran Karaman'da nesiller arasındaki kültürel aktarımın, gelecek nesillerin alışkanlıklarını da etkileyeceği söylenebilir. Bölgenin kültürel mirasına tanıklık eden bu eserlerin, sosyal, ekonomik, kültürel ve toplumsal açıdan kalkınmaya öncülük edeceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, bir toplumun ortak değerleriyle ilgili farkındalık yaratmanın, sosyal açıdan dışa dönük bir sistem oluşturacağı da öngörülmektedir.

Yöresel kültürel miras unsurları, bölge ve ülke tanıtımında önemli rol almakta, evrensel düzeyde iş birliğinin ve ekonomik girişimlerin artmasını da sağlamaktadır. Böylece çeşitli gelir imkânları ile istihdamın artmasına da zemin hazırlayacaktır. Ayrıca sanat, kültür, spor etkinliklerinin ve turizm hareketliliğinin de artırılması, bölgesel kalkınmanın yanısıra, Karaman'ın tanıtımı ve öneminin artmasında büyük rol oynayacaktır.

Ziyaretçiler gittikleri bölgelerin kültürlerini, geleneklerini, yerel özelliklerini ve tarihsel geçmişini deneyimleme eğilimindedirler. Ayrıca, doğa ve macera sporları yapıp, festivaller, el sanatları gibi etkinliklere katılarak da kültürel faaliyetler gerçekleştirebilirler.

Bölgesel el sanatlarının sürdürülebilirliği, festival, kermes ve tanıtım günlerinin düzenlenmesi ile adını daha büyük kitlelere duyurabilecektir.

Bölgede yetiştirilen tarım ürünlerinin, daha büyük boyutlu etkinliklerle tanıtılması, talep edilebilirliğinin artırılması ve kolay temin edilebilirliğini sağlamak gerekmektedir. Kalkınma dinamikleri arasında yer alacak olan bu ürünlerin, bölgeye has özgün bir karakter taşıması ve farkındalığın uyandırmasında da etkili olacaktır.

Tarihi miras niteliği taşıyan doğal ve kültürel unsurların, yerli ve yabancı iletişim kanalları aracılığıyla tanıtılması hem bölgenin hem ilin hem de çevre illerin öneminin artmasına katkı sağlayacağı unutulmamalıdır. Evrensel boyutta gerçekleşecek bu girişimler, kucaklayıcı ve birleştirici bir ortamın da oluşmasını sağlayacaktır. Hatta belli periyotlarda yapılarak bu etkinliklerin geleneksel hale gelmesi de sağlanabilecektir. Yukarıda sıralanan tüm önerilerin hayata geçirilmesiyle, bölgesel kalkınmanın artacağı ve canlılığın sağlanacağı söylenebilir.

#### Kaynakça

- [1] Deviren, N. V. ve Yıldız, O. (2014). Bölgesel Kalkınma Teorileri ve Yeni Bölgeselcilik Yaklaşımının Türkiye'deki Bölgesel Kalkınma Politikalarına Etkileri. Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi, (44), 1-35.
- [2] Çetin, T. (2010). Cumalıkızık Köyü'nde Kültürel Miras ve Turizm Algısı, Milli Folklor Üç Aylık Uluslararası Kültür Araştırmaları Dergisi, 22(87): 181-190.
- [3] Osborne, B. S. ve Kovacs, J.F. (2008). Kültür Turizmi: Otantiklik Arayışı, Fanteziden Kaçma veya Gerçekliği Deneyimleme. Seçim, 45 (6), 927-937.
- [4] Uygur, S. M. ve Baykan, E. (2007). Culture Tourism and Effect of Cultural Tourism and Tourism on Cultural Wealth. Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi, 2, 30-48.
- [5] Dinler, Z. (2012). Bölgesel İktisat. (9.Baskı). Ekin Yayınevi, Bursa.
- [6] UNESCO. (2017). World Heritage Education Programme <https://whc.unesco.org/en/wheducation/>, Erişim Tarihi: 06/07/2021.
- [7] Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (1991), Ortak Geleceğimiz, Belkıs Çırakçı (çev.), Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, Ankara
- [8] Evcı, A. İ. ve Şahin, C. (2021). Göreme Açık Hava Müzesi'nin Erişilebilir Turizm Potansiyelleri Üzerine Bir Araştırma. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (21), 147-153.
- [9] Akyıldız, N. A. ve Olgun T. N. (2020). Somut Olmayan Kültürel Mirasın Anadolu'da Tarihi Yerleşimlerin Korunması ve Sürdürülebilirliği Bağlamında Değerlendirilmesi. Milli Folklor, 16(128), 234-243.
- [10] Aktulum, K. (2020). Kültürel Mirasın Anlambilimi. Milli folklor, 32(126).
- [11] Deniz, T. ve Savaşkan, Y. (2018). Taşınmaz Kültür Varlıkları Kapsamında Ayasofya Müzesi'nin İstanbul Kültür Turizmine Katkısı. Safran Kültür ve Turizm Araştırmaları Dergisi, 1(2), 92-103.
- [12] Dinçer, İ. (2013). Thinking Together Urban Conservation With Urban Modernization in The Process of Urban Transformation: The Possibilities of "Historic Urban Landscape" Concept. ICONARP International Journal of Architecture and Planning, 1, 23-41.
- [13] Kocalar, A. O. (2016). Ekolojik Farkındalığın Arttırılmasında Milli Parkların Rolüne İlişkin Öğrenci Görüşleri. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(9), 55-61.
- [14] Kurt, M. (2009). Karaman'da eski çağlara ait kültürel unsurlar ve turizm açısından önemi. Selçuk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi, 21, 165-196.
- [15] Uca, A. ve Ülker, A. (2016). Geçmişten Günümüze Karaman'da Meslekler. Konya: Palet Yayınları.
- [16] Kalaycı, S. (2018). Şehir markası ve imajı: Karaman örneği (Master's thesis, Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).

- [17] Delen, K. (2005). Karaman İl Merkezinin Beşerî ve Ekonomik Coğrafya Özellikleri, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [18] Şahiner, T. (2012). İnanç turizmi potansiyeli ve halkın inanç turizmine bakışı açısından Karaman (Master's thesis, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- [19] Şahin, H. (2017). Karaman Mader-i Mevlâna (Aktekke) Camisi Haziresinde Bulunan Mezar Taşları. Türk Dünyası Dil ve Edebiyat Dergisi, (44), 297-343.
- [20] Dilay, S. (2012). Kültürel ve Tarihi Açından Karaman'daki Hatuniye Medresesi'nin Yeri Odaları. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 2012(2), 1-4.
- [21] Doğan, N. Ş. ve Fataha, E. B. (2011). Karamanoğulları Medreselerine Tarihsel Bir Yaklaşım: Ermenek Tol, Karaman Hatuniye/Melek Hatun ve Niğde Ak Medreseleri. Hacettepe Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları (HÜTAD), 14(14), 95-118.
- [22] Denктаş, M. (2000). Karaman Çeşmeleri. Kıvılcım Yayınları, Kayseri.
- [23] Kurt, M. (2007). Eskiçağda Karaman, ISBN: 978-975-7734-16-1 Murat Kitapevi, Yenişehir, Ankara.
- [24] Kurt, M. (2013). Karadağ-Mahalaç Tepesi (Karaman) Üzerine Bir Araştırma.
- [25] Eyice, S. (1971). Karadağ (Binbirkilise) ve Karaman Çevresinde Arkeolojik İncelemeler, Recherches Archéologiques á Karadağ (Binbirkilise) et Dans La Région De Karaman, İstanbul.
- [26] Çiçek, A. (2013). Türklerde İskân Siyaseti. İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, 2 (2), 29-46.
- [27] Ekin, C. (2017). Karamanlıların soy kütükleri Karamanlıca (Grek Harfli Türkçe) kitabeli mezar taşlar. Sanat Tarihi Dergisi, 26 (2), 221-241.
- [28] Özgen, H. (2006). Zamanın Kapıları Karaman. Mart Matbaacılık.
- [29] Tapur, T. (2017). Karaman Çevresindeki Tarihi Yerleşim Alanları. Türk İslam Medeniyeti Akademik Araştırmalar Dergisi, 12(24), 101-114.
- [30] Gültekin, N. T. ve Uysal, M. (2018). Kültür Mirasının Sürdürülebilirliğinde Alan Tanımı: Taşkale Kaya Oyma Tahlı Ambarları Örneği. Humanities sciences, 13(3), 36-56.
- [31] Yıldırım, İ. (2017). "Kızıllar Kültürü", Murat Kitabevi, ISBN: 978-975-2469-18-1, Ankara.
- [32] Altunbaş, A. ve Özdemir, Ç. (2012). "Çağdaş Müzecilik Anlayışı ve Ülkemizde Müzeler". Kültür ve Turizm Bakanlığı, Ankara Erişim Tarihi: 28.12.2017. <http://teftis.kulturuzm.gov.tr/Eklenti/4655,makale.pdf?0>
- [33] Batman, O. ve Oğuz, S. Ç. (2008), Kültür Turizmi. Hacıoğlu, N ve Avcıkurt, C. Ed., s: 189-208. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

### İnternet Kaynakları

- <https://www.turkiye-rehberi.net/karaman-haritasi.asp> (Erişim Tarihi: 21/05/2021)
- <https://karaman.ktb.gov.tr/TR-129387/karadag-binbir-kilise.html> (Erişim Tarihi: 16/06/2021)
- <http://www.larende.com> Özunal, H. (2017). (Erişim Tarihi: 26/06/2021)
- <https://karaman.ktb.gov.tr/TR-129570/degle-oren-yeri.html> (Erişim Tarihi: 16/06/2021)
- <http://www.icomos.org.tr/> (Erişim Tarihi: 11/03/2021)





# Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Lojistik Faaliyetlerindeki Uygulama Alanları ve Verimliliğe Etkileri

Ümit Yılmaz<sup>1\*</sup>, Özlem Kuvat<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Balıkesir Üniversitesi, Bigadiç Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Balıkesir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4268-8598), [umityilmaz@balikesir.edu.tr](mailto:umityilmaz@balikesir.edu.tr)

<sup>2</sup> Balıkesir Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Balıkesir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7017-4557), [ohasgul@balikesir.edu.tr](mailto:ohasgul@balikesir.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 5 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 25 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1004953)

**ATIF/REFERENCE:** Yılmaz, Ü. & Kuvat, Ö. (2021). Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Lojistik Faaliyetlerindeki Uygulama Alanları ve Verimliliğe Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 746-754.

## Öz

Günümüz modern lojistik sistemleri, karmaşık operasyonlar, yoğun ve hızlı çalışma temposu ve özellikle karmaşık çalışma ortamlarında ağır iş yoğunluğu gibi özelliklere sahiptir. Özellikle Covid-19 pandemisinin ardından yaşanan sınırlılıklar ve sorunlar nedeniyle lojistik sektörü bütün dünyada ele alınması gereken en önemli sektörlerden biri durumuna gelmiştir. Lojistik sistemlerindeki iş yoğunluğunun dengelenmesinde ve verimliliğin sağlanmasında dijital teknolojilerden biri olan nesnelerin interneti teknolojisi büyük yer tutmaktadır. Nesnelerin interneti teknolojisinin entegre edildiği sistemler tarafından sağlanan gerçek zamanlı görünürlük ve veriye dayalı bilgiler, başta lojistik sektörü olmak üzere tüm sektörlerde verimliliğin artmasına, maliyetlerin azalmasına, müşteri memnuniyetinin artmasına, pazar payının artmasına ve enerji sarfiyatının azalmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, lojistik faaliyetlerinde nesnelerin interneti teknolojisinin uygulanması neticesinde elde edilecek kazanımları gözler önüne sermek amaçlanmaktadır. Ayrıca çalışmada nesnelerin interneti uygulamalarının neticesinde elde edilecek verimlilik kazanımları üzerinde durulacaktır. Yapılan araştırmanın sonuçları, işletmelerin temel lojistik faaliyetlerinde nesnelerin interneti teknolojisini kullanmalarının fayda, maliyet ve verimlilik açısından büyük avantajlar sağlamalarına olanak sağlayacağını işaret etmektedir. Bunun yanı sıra bu gibi avantajlara karşın işletmelerin nesnelerin interneti teknolojisinin lojistik faaliyetlerine entegrasyonlarında duydukları kaygıların, bu teknolojiye geçiş sürecini geciktirdiği ve hatta durma noktasına getirdiğine yönelik bulgulara rastlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Lojistik, Nesnelerin İnterneti, Gerçek Zamanlı Bilgi, Verimlilik.

## Applications of Internet of Things Technology in Logistics Activities and Its Effects on Productivity

### Abstract

Today's modern logistics systems have features such as complex operations, intense and fast work pace and heavy workload, especially in complex working environments. Due to the limitations and problems experienced especially after the Covid-19 pandemic, the Logistics sector has become one of the most important sectors to be addressed all over the world. Internet of Things technology, which is one of the digital technologies, has a great place in balancing the workload and ensuring efficiency in logistics systems. Real-time visibility and data-based information provided by the systems in which Internet of Things technology is integrated allow to increase efficiency, decrease costs, increase customer satisfaction, increase market share and reduce energy consumption in all sectors, especially in the logistics sector. In this study, it is aimed to reveal the gains to be obtained as a result of the application of the Internet of Things technology in logistics activities. In addition, the study will focus on the productivity gains to be obtained as a result of the Internet of Things applications. The results of the research indicate that using the internet of things technology in the basic logistics activities of the enterprises will enable them to provide great advantages in terms of benefit, cost and productivity. In addition, despite such advantages, there were findings that the concerns of the enterprises in the integration of the internet of things technology into their logistics activities delayed the transition to this technology and even brought it to a standstill.

**Keywords:** Logistics, Internet of Things, Real-time Information, Productivity.

\* Sorumlu Yazar: [umityilmaz@balikesir.edu.tr](mailto:umityilmaz@balikesir.edu.tr)



## 1. Giriş

Nesnelerin interneti (Iot, internet of things), gerçek zamanlı algılama, veri toplama ve paylaşmayı sağlayan yeni bir dijital dönüşüm dalgası olarak gelişmiştir. Nesnelerin interneti, internet üzerinden iletişim kurabilen milyarlarca cihazı bir araya getiren ve ilgili cihazların fiziksel dünyayı algılayabilmesine, gözlem verilerini gönderip alabilmesine ve bu veriler paralelinde hareket etmesine imkan tanıyan bir teknolojidir (Fizza vd., 2021: 1). Nesnelerin internetinin lojistik, sağlık, ulaşım, üretim ve turizm gibi yaygın uygulamaları, toplumların ve ekonomilerin birçok yönünü çarpıcı biçimde dönüştürmektedir (Delgosha vd., 2021: 1). Gelişmiş nesnelerin interneti çözümleri, internet teknolojilerini kullanarak sensörler, cihazlar ve değer zinciri ortaklarının birbirine bağlanmasını sağlar, farklı kaynaklardan veri toplayıp analiz ederek çok daha fazla şeffaflık yaratır ve veri toplama, uzman sistemler ve makine öğrenmesi sistemleri için fırsatlar yaratır (Ruile, 2021: 278).

Haziran 2021'de Statista Çevrimiçi Hizmetler tarafından yayınlanan rapora göre dünya çapında nesnelerin interneti cihazlarının sayısı 2020 yılında 8,74 milyar olup bu sayının 2030 yılında 23,4 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Endüstriyel ölçekte bakıldığında nesnelerin interneti cihazları elektrik, gaz, buhar, su temini ve atık yönetimi, perakende ve toptan satış, nakliye ve depolama iş kollarında yoğun olarak kullanılmakta ve 2030 yılında endüstriyel ölçekte kullanılan nesnelerin interneti cihazlarının sayısının 8 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir (Statista, 2021).

Birçok sektörde faaliyet gösteren işletmeler, rekabetçi olabilir ve verimliliklerini artırabilmek amacıyla fonksiyonlarını yerine getirirken nesnelerin interneti gibi teknolojilerden faydalanmaktadır. Bu sayede dijital dönüşüme adapte olmaktadır ve rakiplerine karşı avantajlı duruma gelmektedirler. Lojistik sektörü de teknolojik olanakların mümkün olan en üst düzeyde kullanılmaya çalışıldığı bir alandır.

Lojistiğin gelişimi, teknolojinin ilerlemesi ile yakından ilişkilidir. Teknolojik gelişme perspektifinden lojistiğin evrimi Tablo 1'de gösterilmiştir. Modern lojistiğin gelişimi, lojistik mekanizasyonu, lojistik otomasyon, lojistik entegrasyon ve lojistik zekâ olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Tablodan da görüleceği üzere nesnelerin interneti, lojistik zekâ aşamasının anahtar teknolojilerinin ilk sıralarında yer almaktadır (Song vd., 2021: 4253).

Lojistiğin evrimi aşamasında yaşanan bu değişim, mekanizasyon, otomasyon, entegrasyon ve zekâ olarak adlandırılan dönemler boyunca işletmelerde verimliliğin artışıyla belirgin bir artışa yol açmıştır. Özellikle zekâ olarak adlandırılan bu dönemde teknoloji kullanımıyla ve dijitalleşme ile birlikte sürdürülebilir verimlilik yaklaşımına yönelik kazanımlar da elde edilmiştir.

Lojistik sistemler, genellikle karmaşık ve dinamik özellikler sunan ve tedarik zinciri performansına odaklanan varlık, hizmet, finans ve bilgi akışlarının yönetimini içerir. Nesnelerin İnterneti gibi teknolojik gelişmeler, lojistik sistemlerinde verinin kullanılabilirliğini ve hacmini artırmıştır. Nesnelerin interneti, nispeten yeni bir konsepttir ve Endüstri 4.0'daki dokuz temel teknolojiden biridir (Jagtap vd., 2021: 176). Nesnelerin interneti teknolojileri, lojistik süreçlerde yer alan ekipmanlar, çalışanlar, malzemeler, işler ve bunun gibiler arasındaki bağlantıyı sağlayan, verilerin kesikli olarak toplanmasına izin veren, sistemin mevcut durumunun çeşitli yönlerini göz önünde bulundurarak senkronize karar vermeye rehberlik eden sistemlerdir (Agostino vd., 2020: 387). Lojistik sektörünün süreçlerini otomatikleştirmek, basitleştirmek ve daha verimli hale getirmek için nesnelerin interneti teknolojilerinin kullanılması gerekmektedir (Sergi vd., 2021: 21).

Nesnelerin interneti teknolojisi, lojistik hizmet sağlayıcılarının müşterilerini nasıl izleyecekleri, nasıl yönlendirecekleri ve müşterilere malları nasıl teslim edecekleri konusunda yardımcı olur. Nesnelerin interneti ile donatılmış lojistik faaliyetlerinde, ürünlerin göndericiden alıcıya otonom ve kendi kendini kontrol eden bir şekilde hareket görmesi sayesinde geleneksel lojistik faaliyetlerindeki uzun yanıt süresi birkaç güne indirilir. Bu sayede, lojistik hizmet sağlayıcıları rakiplerine karşı rekabet avantajı elde ederler (Golpıra vd., 2021: 8).

Nesnelerin interneti altyapısı ile donatılmış gerçek zamanlı bilgi işlem teknolojisi, emtia tasarımı, hammadde satın alma, üretim, nakliye, depolama, dağıtım, iadelerin işlenmesi, satış sonrası servis ve yarı ürünler ile nihai ürünlerin satışına kadar tedarik zincirinin hemen hemen her bağlantısının gerçek zamanlı izlenmesine müsaade etmektedir. Bu sayede işletmeler ve hatta tüm tedarik zinciri, karmaşık ve değişken pazarlara en kısa sürede cevap verebilmek için ürünlerle ilgili bilgileri hızlı, zamanında ve doğru bir şekilde elde edebilmektedir (Atzori vd., 2010: 2793-2794).

Tablo 1. Lojistiğin Evrimi (Song vd., 2021: 4253)

Aşama	Mekanizasyon	Otomasyon	Entegrasyon	Zekâ
Zaman Aralığı	1920-1960	1960-1990	1990-2000	2000-Günümüz.
Özellikler	Mekanik ekipman insan gücünün yerini almıştır.	Lojistik işlemleri için ekipman ve tesislerin otomasyonu gerçekleştirilmiştir.	Çoklu sistem iş birliği mevcuttur.	Akıllı işleme, analiz, karar verme gibi işlevsel özelliklere sahiptir.
Anahtar Teknolojiler	Mekanik imalat	Sensör, barkod, otomatik kontrol, bilgisayar teknolojisi	Radyo frekansı ile tanımlama, İnternet iletişim teknolojisi	Nesnelerin interneti, yapay zekâ, büyük veri
Örnek	Çekici, forklift, vb.	Otomatik kılavuzlu araçlar, otomatik depolama ve çekme sistemi, vb.	Lojistik bilgi yönetim sistemi, vb.	İnsansız hava araçları, Otomatik teslimat robotu, vb.

## 2. Nesnelerin İnterneti Uygulamalarında Kullanılan Teknolojiler

Lojistik operasyonlarının performansı esas olarak karar vermenin sonuçlarına bağlı olduğundan, nesnelerin interneti, verimli veri toplama, işleme ve analiz yoluyla karar verme süreçlerini iyileştiren veri odaklı teknolojiler olarak önemli bir rol oynamaktadır. Lojistik uygulamalar için temel veri odaklı nesnelerin interneti teknolojileri Tablo 2’de özetlendiği gibi veri toplama, bağlantı ve veri işleme olmak üzere üç ana fonksiyon altında gruplandırılabilir (Tran-Dang vd., 2020: 7).

### 2.1. Veri Toplama Teknolojileri

Veri toplama teknolojileri tanımlama, algılama ve izleme olmak üzere üç grupta değerlendirilebilmektedir.

#### 2.1.1. Tanımlama Teknolojileri

Fiziksel nesnenin tanımlanması, bir nesnenin belirli bir uygulama alanında uygun bir tanımlayıcı ile benzersiz olarak tanımlanması sürecidir. Nesnenin tanımlanmasının amaçları, nesnelere ilgili bilgileri almak ve yakalamak ile nesnelere kontrol etmek ve yönetmektir (Hu vd., 2017: 1910). Radyo frekansı ile tanımlama, yakın alan iletişimi, barkod ve karekod gibi teknolojiler, tanımlama alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerden en popüler olan radyo frekansı ile tanımlama sistemleri, işletmelerin gelen siparişleri doğru ve zamanında karşılayabilmeleri için işletmelere tedarik zincirini gerçek zamanlı görme imkanını sağlayabilmektedir. Tedarik zincirinin bu eksiksiz görünürlüğü, şirketlerin süreçlerini minimum maliyetle maksimum verimlilik için sürekli olarak iyileştirmelerine olanak

tanıyan olağanüstü bir anlayış sunar. Radyo frekansı ile tanımlamanın kullanılması, malların hareketi ile bilgi talebine dair maliyetlerin minimize edilmesine olanak sağlar. Bunun yanı sıra işletmelere çok zaman kazandırır (Arif vd., 2019: 298).

#### 2.1.2. Algılama Teknolojileri

Sıcaklık, darbe ve nem sensörleri gibi akıllı sensörler, ortamdaki ve ürünlerin durumundaki değişiklikleri tespit etmek için kullanılmaktadır. Nesnelerin interneti ile entegre edilen bu veriler, ürünlerin ve ürün ağacında yer alan hammadde ve yardımcı malzemelerin lojistik faaliyetleri süresince sıcaklık, nem ve kalite koşulları değiştirilmeden aktarılmasını sağlamaktadır ve tedarik zinciri paydaşları arasında paylaşılabilir (Anitha vd., 2021: 5). Algılama teknolojileri ile elde edilen veri, nesnelerin interneti teknolojisinin imkanları ile depolanabilmekte ve gerektiği zaman kullanılabilir.

Çok çeşitli akıllı sensörleri birbirine bağlayan heterojen kablosuz sensör ağları, nesnelerin interneti tabanlı sistemlerin temel taşı haline gelmiş ve yakın gelecekte önemli iyileştirmeler sağlamıştır (Gulati vd., 2021: 1). Kablosuz sensör ağlarının teknik gelişimi, akıllı sensörlerden kablosuz akıllı sensörlere bir geçiş yaşamış ve sonunda kablosuz sensör ağlarının üç aşamasına dönüşmüştür. Bunlar; akıllı sensör aşaması, kablosuz akıllı sensör aşaması ve kablosuz iletişim yeteneğidir. Akıllı sensör aşaması, sensör düğümünün çalışma kapasitesini geliştirmek ve genişletmek için sensöre veri hesaplama ve işleme yeteneklerine sahip bir çip yerleştirir. Kablosuz akıllı sensör aşaması, akıllı sensöre dayalı olarak sensör düğümüne kablosuz iletişim teknolojisi ekler. Kablosuz iletişim yeteneği, antenlerin anten farkındalığını artırır (Ouyang vd., 2019: 2).

Tablo 2. Nesnelerin İnterneti Uygulamalarında Kullanılan Teknolojiler (Tran-Dang vd., 2020: 7)

Fonksiyon	Nesnelerin İnternetine Olanak Sağlayan Teknolojiler	
	Sınıflandırma	Örnek Anahtar Teknolojiler
Veri toplama	Tanımlama	Radyo frekansı ile tanımlama, Doğrusal barkod, Karekod, Yakın alan iletişimi
	Algılama	Sensörler (Örnek: Biyosensörler, nem, sıcaklık sensörleri)
	İzleme	Küresel konumlandırma sistemi, Genel paket radyo servisi
Bağlantı	Küresel kapsama	Hüresel (2G, 3G, 4G, 5G), Uydu
	Uzun menzilli kapsama	Düşük güçlü geniş alan (Sigfox, LoRa, NB-IoT, LTE-M)
	Kısa menzilli kapsama	Kablosuz bağlantı, Zigbee, Bluetooth, Düşük enerjili bluetooth
Veri işleme	Bulut bilişim: Tüm büyük nesnelerin interneti verileri, uzak ve güçlü bulutta işlenir.	
	Kenar / Sis bilişim: Nesnelerin interneti veri setleri, performansları iyileştirmek için veri kaynaklarına yakın kenar nesnelerin interneti cihazlarında veya sis düğümlerinde işlenir.	
	Büyük veri analitiği, makine öğrenmesi, yapay zekâ: Nesnelerin interneti verilerini analiz etmek ve ardından karar vermeyi iyileştirmek için eğilimleri tahmin etmek için ilgili algoritmalar kullanılır.	
	Ara katman: Nesnelerin internetinin özellikleri ne olursa olsun, ara katman yazılımı, zekâ uygulamaları ve hizmetleri oluşturmak için yalnızca nesnelerin interneti verilerine güvenir.	

### 2.1.3. İzleme Teknolojileri

Çok sayıda nesne, nesnelerin internetine benzersiz bir şekilde tanımlanıp bağlandıkça, nesnelere tek tek izlenebilmekte, nesnelerin durumu ve konumu gerçek zamanlı olarak daha üst düzey bir hizmete iletilebilmektedir (Ibarra-Esquer vd., 2017: 14). Teknolojik ilerleme ve nesnelerin interneti sisteminin popülaritesinin bir sonucu olarak GPS (küresel konumlandırma sistemi) ve GPRS (genel paket radyo servisi) gibi teknolojiler, hareket halindeki nesnelerin gerçek zamanlı takibine yönelik gelişmiş ve gerçekçi bir yaklaşım sağlamıştır. Bu nesnelerin interneti teknolojileri, herhangi bir nesnenin konumunu ve durumunu internet aracılığıyla dinamik olarak verme yeteneğine sahiptir (Thomas ve Rad, 2017: 2). İzleme teknolojinin kullanımıyla elde edilen verilerin eşanlı olarak değerlendirilmesi lojistik hizmet sağlayıcılar tarafından etkili kararların çok hızlı alınmasını sağlamaktadır.

### 2.2. Bağlantı Teknolojileri

Bağlantı, bir nesnelerin interneti çözümünün çok önemli bir unsurudur. Bu nedenle, nesnelerin interneti iletişimlerinin güvenilirliğini garanti etmek ve ortamın kısıtlamalarına uyum sağlamak için aynı nesnelerin interneti uygulamasında birçok protokol kullanılabilir. Bu kısıtlamalardan bazıları fiziksel kurulum, gerçekleştirilen belirli nesnelerin interneti görevleri ve cihazın bilgi işlem kaynakları ile ilgilidir (Babun vd., 2021: 3). Kablosuz bağlantı, küresel kablosuz ağ, uzun menzilli kablosuz ağ ve kısa menzilli ağ olarak üç ayrı sınıfta incelenebilir.

### 2.3. Veri İşleme Teknolojileri

Veri işleme teknolojilerinden bulut bilişim teknolojisi, neredeyse sınırsız işleme ve depolama kapasitesiyle sağlanmaktadır. Bu teknoloji, nesnelerin interneti teknolojisinin sınırlı depolama ve işleme kapasitesinin teknolojik sınırlamasının üstesinden gelmesine izin verir (Kavre vd., 2019: 2). Böylece, kapasiteye dayalı olan kısıtlamalardan kaynaklanan sorunlar da ortadan kalkmaktadır.

Bulut ve nesnelerin interneti arasındaki etkileşimi desteklemeye yönelik artan ihtiyaç, bilgi işlem ve depolama kaynaklarının yalnızca bulutta değil, aynı zamanda veri kaynağına yakın kenarlarda bulunduğu Kenar ve Sis bilişimine yol açmıştır. Kenar bilişim ve Sis bilişimin bulut nesnelerin internetine entegrasyonu, kritik uygulamalar için gecikmeyi azaltarak ve nesnelerin interneti cihazları tarafından oluşturulan devasa veri akışını daha iyi yöneterek hem mevcut hem de gelecekteki nesnelerin interneti çözümlerinde büyük sıçrama sağlayacaktır (Firouzi vd., 2021: 2).

Sis bilişimi, tamamen ağ kenarında yer almayan, bulut bilişim bilgi merkezleri arasında ağ oluşturma, depolama ve bilgi işlem kaynakları sağlayan sanallaştırılmış ortamlardır. Sis bilişim, bulut bilişimin bir uzantısıdır ve depolama hizmetlerini kenar cihazlara yaklaştıran cihazlar ile bulut bilişim arasında aracı görevi görür (Sabireen ve Venkataraman, 2021: 164). Nesnelerin interneti teknolojisi, veri toplama fonksiyonunun kullanımıyla elde edilen verinin veri işleme fonksiyonu ile değerlendirilmesi ve analizi lojistik servis sağlayıcılarının birbirinden farklı çok etkin ve hızlı çözümler sunan dijital dönüşüm aracını kullanmasını sağlayacak ve optimal sonucu veren kararlar almasını yolunu açacaktır.

Nesnelerin interneti uygulamalarının çoğu, tahmin süreçlerinde, veri madenciliğinde ve veri analitiğinde kullanılan akıllı öğrenme mekanizmalarına dayanmaktadır. Makine

öğrenmesi yaklaşımları ve çözümleme araçları, birçok nesnelerin interneti uygulamasında etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Dolayısıyla, makine öğrenmesi ve nesnelerin interneti birbiriyle ilişkili teknolojilerdir. Ayrıca nesnelerin interneti sistemleri, çeşitli modern yapay zekâ yaklaşımlarına bağlıdır. Bu yaklaşımlar, oluşturulan veri ve yönetim gereksinimlerinin devasa boyutuna ek olarak nesnelerin interneti altyapısının karmaşıklığını da dikkate alır (Said ve Tolba, 2021: 1-2).

Veri işleme teknolojilerinden ara katman yazılımı, veritabanları, sunucular, protokoller ve bilgi gönderme ve alma sorguları gibi yazılımlardan oluşur. Nesnelerin internetinin bu yönü, sensörden verileri toplayan, verileri analiz eden ve depolayan bulut ve kablosuz iletişim katmanından oluşur. Ayrıca, ara katman yazılımı istenmeyen bilgileri filtreler ve gerekli verileri göndermek için bulutla iletişim kurar. Bu bölüm tarafından gerçekleştirilen diğer görevler, heterojen akıllı cihazları bağlamak ve yönetmek, güç tüketimini izlemek ve ayrıca değiş tokuş edilen tüm verilerin gizliliğini ve güvenliğini güvence altına almaktır (Lawal ve Rafsanjani, 2021: 4).

Bulut, Kenar ve Sis bilişimleriyle birlikte yapay zekâ, veri madenciliği ve makine öğrenmesi gibi bütün bu bileşenler, lojistik sektöründe karşılaşılan karmaşık problemlerin çözümünde hem optimizasyonu sağlamak hem de hız kazanmak adına işletmelere büyük katkıda bulunmaktadır ve buna bağlı olarak verimlilik artışını da sağlamaktadır.

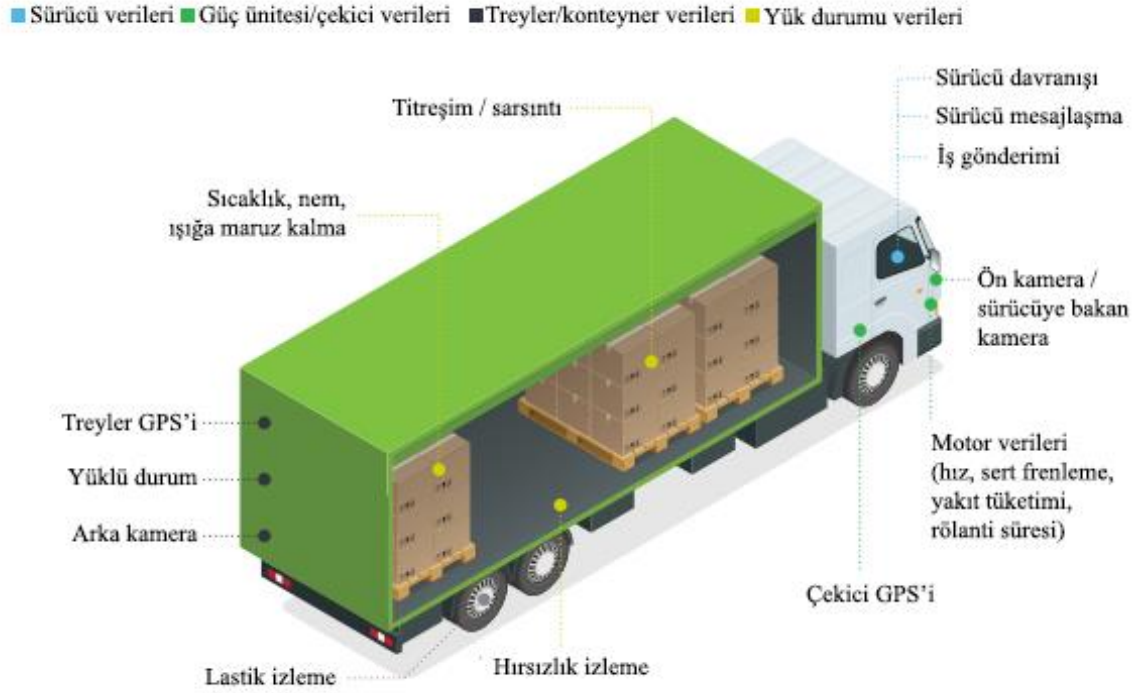
## 3. Lojistikte Nesnelerin İnterneti ile Verimli Uygulamalar

Lojistik alanında nesnelerin internetinin kullanılması farklı fonksiyonların yerine getirilmesi esnasında olabilmektedir. Bu alanda rekabet avantajı sağlamak için işletmeler dijital dönüşümü ve teknoloji değişimini benimseme yoluna giderek verimliliklerini artırma fırsatına sahip olabilmektedir. Özellikle taşımacılık yönetimi, depo yönetimi, elleçleme, paketleme, dağıtım, lojistik bilgi işlem sistemi, talep tahmini gibi alanlarda bu yaklaşımın kullanılması işletmeler için çok etkili avantajlar sunabilmektedir.

### 3.1. Taşımacılık Yönetimi

Nesnelerin interneti teknolojisi, taşımacılık yönetimi alanında hizmet veren lojistikçilere çeşitli veriler sağlamaktadır. Bu veriler, yöneticilere teslimat zamanını tahmin etmelerini ve bu tahminlere göre planlama yapmalarını sağlamaktadır (Singh ve Roy, 2020: 310). Lojistik işletmelerinde eşanlı verilere dayalı yapılacak planlama faaliyetleri ve düzenlemeler tüm sürece ilişkin performans artışına yol açmaktadır. Nesnelerin interneti teknolojisinin sağladığı imkanlar sayesinde yaşanan darboğazların ve oluşan kısıtlamaların üstesinden gelmek çok daha hızlı olabilmektedir.

Şekil 1'de görüldüğü üzere günümüzde taşıma araçları yalnızca yük taşımakla kalmamakta, konum, motor durumu, çevresel koşullar, araç verileri, sürücü davranışı ve güvenlik gibi büyük miktarda veri üretmektedir. Bu verileri bulut tabanlı bir veri sistemine yüklemek ve diğer teknolojilere ve nakliye süreçlerine beslemek, rotalamayı, gönderi takibini, kalite uyumluluğunu, filo yönetimini, sürücü performans yönetimini ve güvenliğini destekleyebilir. Uçtan uca nesnelerin interneti özellikli bir taşımacılık sisteminde, bilgi ağ boyunca sorunsuz bir şekilde akacak ve bir bilgi değer döngüsü oluşturacaktır (Taliaferro vd., 2019: 3-4).



Şekil 1. Nesnelerin İnterneti Tabanlı Taşımacılık Yönetimi

Özetle nesnelerin interneti sayesinde taşımacılık yönetiminde yapılan modernizasyonlar ile araç durumu, yük durumu ve sürücü durumu gerçek zamanlı izleme teknolojisi sayesinde izlenebilmektedir ve bu durumun da çok etkili kazanımları olabilmektedir. Taşımacılık yönetiminde eşanlı takip sayesinde hem herhangi bir plan dışı durumun ortaya çıkmasına ilişkin sorunlar anlık giderilebilmekte ve yaşanan tüm değişimlere ilişkin hızlı kararlar alınması sağlanabilmektedir. Ayrıca nesnelerin interneti teknolojisinin sunduğu veri işleme modellerinin ve araçlarının kullanımı taşımacılık sürecinde de verimlilik artışında büyük destek sağlayarak kar optimizasyonuna katkı sunabilmektedir.

### 3.2. Depo Yönetimi

Nesnelerin interneti, malların depo ağıyla sürekli iletişim halinde olmasını sağlar. Ürünler depodayken, sistem bilgilerin iletimi sayesinde tüm malların her zaman nerede olduğunu bilmelidir (van Geest vd., 2021: 4). Ürünlerin yanı sıra raflar ve operatörler de nesnelerin interneti yardımıyla izlenebilmektedir. Bu da depo yönetim sisteminde yöneticilere karar desteği sağlamaktadır ve anlık izleme olanağı vermektedir. Depodaki ürün konumlarının görünürlüğünün olmadığı durumlarda, ister insan hatasından isterse diğer faktörlerden kaynaklansın, ürünlerin kaybı ve bilinmeyen depolama yerleri gibi çeşitli sorunlar meydana gelebilmektedir. Ancak, ürünün üretim zamanı, ürünün mevcut konumu ve geçmiş konumları ile bu ürünleri işleyen personelin isimleri ile belirli ayrıntılar bilinirse birçok yaygın problem ortadan kaldırılabilir. Nesnelerin interneti tabanlı gerçek zamanlı bir izleme sistemi, depo görünürlüğünü ve izlenebilirliğini artırmaktadır (G. Zhang vd., 2021: 3). Sistemin sağladığı olanaklar sayesinde eş zamanlı takip ile sadece depo yönetimi için değil üretim sürecinde yaşanan tüm bekleme ilişkili yeterli bilgi sahibi olması da sağlanmaktadır. Bu sayede üretim verimliliği için de katkı sağlanıp zaman ve malzemeye ilişkin kayıpların da önüne geçilebilmektedir.

Nesnelerin interneti tabanlı gerçek zamanlı izleme teknolojisi eşzamanlı olarak, envanter bilgilerini görsel hale getirmek için toplar ve günceller. Bu sayede ürün türleri, ürün miktarları, ürünlerin yerleri ve ürünlerin sıcaklık ve nem bazı depolama koşulları eşzamanlı olarak takip edilebilir. Böylece ürün bilgileri; ürün sınıflandırması, kategorize edilmesi, istiflenmesi ve yönetilmesi için kolaylıkla kullanılabilir. Bunun yanı sıra nesnelerin interneti teknolojisinin kullanılması, envanter yönetimi sürecini kolaylaştırmaya, darboğazları gidermeye, depo kaynaklarını verimli bir şekilde tahsis etmeye, depolama verimliliğini artırmaya ve insan hatalarını azaltmaya yardımcı olur (Ding vd., 2021: 330; Zhang vd., 2012: 716). Özellikle bozulmaya karşı hassas veya paketlenme ile ilgili süre konusunda risk taşıyan ürünlerin takibi ve tarihe dayalı önceliklendirilmesi depolarda yaşanan ürün kayıplarının önüne geçme konusunda daha etkili çözümler sunmaktadır.

### 3.3. Elleçleme

Malzeme elleçlemede yoğun bir şekilde faydalanılan personel ve ekipmanlar gibi temel kaynaklar, nesnelerin interneti teknolojilerinin benimsenmesiyle daha verimli ve ekonomik bir şekilde kullanılabilir. Günümüze kadar çalışanlar tarafından yönetilen lojistik üs yapı, nesnelerin interneti teknolojisi yardımıyla otonom hale gelerek, işletme içerisinde gerçekleştirilen elleçleme faaliyetlerinin çalışan müdahalesi olmadan veya hafif bir çalışan müdahalesiyle hayata geçirilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca nesnelerin internetinin benimsenmesiyle elleçleme faaliyetinde rastlanılan insan hatalarının önüne geçilmiştir (Buntak vd., 2019: 249; Rey vd., 2021: 585). Nesnelerin interneti teknolojilerinin kullanımı elleçleme faaliyetlerinin planlanması, çizelgelenmesi, modernize edilmesi, izlenmesi, kazaların azaltılması, hızın artırılması gibi pek çok farklı alanda iyileşmeyi beraberinde getirmektedir.



### 3.4. Paketleme

Nesnelerin interneti gibi ileri teknolojilerin gelişimi ve ambalajın endüstriyel kullanımının artması, ambalajın temel rolleri olan koruma ve iletişim özelliklerinin değişmesini etkilemiştir. Yakın zamanda geliştirilen nano ölçekli malzemeler sayesinde, paketleme fonksiyonu önemli ölçüde iyileştirilirken, iletişim fonksiyonu yüksek performanslı bilgi işlem cihazları tarafından geliştirilmiştir. Bu nedenle, geleneksel paketleme yöntemleri nesnelerin interneti teknolojisinin sahip olduğu fonksiyonlar yardımıyla geliştirilen alternatiflerle karşı karşıyadır ve daha gelişmiş paket biçimleri piyasada geliştirilmekte ve mağaza ve tüketici iletişimi için geliştirilmiş bir araç haline gelmektedir (Lydekaityte ve Tambo, 2020: 390). Etiketli paketler, yolculukları sırasında daha fazla görünürlük sağlar. Müşteriler, nesnelerin interneti özellikli çözümlerle paketinin tam konumunu, tahmini varış saatini takip edebilir ve teslimat adresini gerektiği gibi değiştirebilir. Bu durum da teknolojinin sağladığı bir başka avantajdır.

### 3.5. Dağıtım

Birçok lojistik işletmesi, işletmelerin ölçeğinin kademeli olarak genişlemesi ile üretim hacminin değişimi, ürün türlerinin artması ve envanter miktarlarının büyük boyutlara ulaşması nedeniyle dağıtım merkezinde istenilen düzeyde planlama yapamamaktadır. Bundan dolayı alan kullanım oranı düşük olmaktadır ve sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Ulaştırma, aktarma ve dağıtım sürecini optimize etmek (şebeke modellerini kullanmak, aktarma ve dağıtım bilgi paylaşımını gerçekleştirmek ve yönetim verimliliğini artırmak) için lojistik sistemlerinin nesnelerin interneti teknolojisiyle modernize edilmesi gerekir (H. Zhang vd., 2021: 175). Dağıtım konusu özellikle lojistik sektörü için büyük önem arz etmektedir. Nesnelerin interneti teknolojisinin kullanımı ve dijital dönüşümdeki gelişmelerin dağıtım alanına yansıtılabilmesi işletmelerin yaşadıkları sorunların büyük ölçüde çözülmesini sağlayacaktır.

### 3.6. Lojistik Bilgi İşlem Sistemi

Lojistik bilgi işlem sistemleri, iş süreçlerinin yeniden düzenlenmesine dayanan, lojistik faaliyetlerin tüm bilgilerini kontrol eden ve entegre eden, dolayısıyla iç ve dış bilgi kaynaklarının paylaşımını ve etkin kullanımını gerçekleştiren ve ilave olarak işletmelerin ekonomik faydalarını ve temel rekabet gücünü artıran teknolojiyi ifade eder (Yu, 2019: 1756). Yani farklı sektörlerdeki bilgi işlem süreçlerine ilişkin bileşenlerin uygulanmasının yanı sıra bu sektöre ilişkin özel ihtiyaçların da karşılanabildiği sistemler kullanılabilir.

Geçmişte lojistik bilgi sistemleri genellikle tedarik zincirine zayıf bir şekilde entegre edilmiştir. Bu durum, uçtan uca görünürlüğü ve gerçek zamanlı karar vermeyi engellemiştir. Ayrıca lojistik sistemlerin kullanımı esas olarak sipariş takibi, araç izleme ve teslimat gibi fonksiyonlarla sınırlı kalmıştır ve daha gelişmiş fonksiyonlar için uygun maliyetli çözümler eksiktir. Neyse ki internet tabanlı bilgi sistemlerine yönelik gelişme, mevcut lojistik bilgi sistemlerinin darboğazlarının çözülmesinde önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Nesnelerin internetinin gelişmiş algılama yetenekleri, ürünlerin tüm lojistik faaliyetlerindeki konumlarını ve durumlarını uzaktan izleme ve kontrol etme olanağı tanıdığı, buna ilave olarak da uygun maliyetli lojistik çözümlerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır (Verdouw vd., 2018: 755). Verinin etkin bir şekilde toplanması ve değerlendirilmesi ile yapılacak planlama çalışmalarında ve optimizasyon modelleme çalışmalarında işletmelerin rekabet

etmedeki üstünlükleri sağlanabilecek ve verimliliklerinde artış gözlenebilecektir.

### 3.7. Talep Tahmini

Nesnelerin internetinin lojistik faaliyetlerinde uygulanması talebin karşılanmasına yardımcı olmaktadır. Talebin karşılanması lojistik sektöründe verimliliğin en önemli göstergelerinden biridir. Nesnelerin interneti teknolojilerinin sektördeki uygulamaları teknik yönlerle sınırlı değildir; ayrıca talebi tahmin etme yeteneğini geliştiren öngörüler de sağlayabilir. Nesnelerin internetinin entegre edildiği akıllı teknolojiler; kullanıcı davranışı, mevcut pazar eğilimleri, müşteri niyet ve tercihleri, alıcıların satın alma nedenleri ile daha sonra satın aldıkları ürünleri nasıl kullandıkları gibi çok sayıda faktörün kapsamlı bir analizine dayalı olarak talebi tahmin edebilir.

Makine öğrenmesi yaklaşımları ve akıllı öğrenme mekanizmaları kullanarak yapılacak tahminleme çalışmalarında daha düşük hata ile yapılacak tüm tahminler işletmelerin tüm lojistik planlama faaliyetlerinin daha verimli bir şekilde yürütülmesini sağlayacaktır.

### 3.8. Optimizasyon

Lojistik alanında gerçekleşen talepleri karşılamak için geliştirme ve optimize etme ihtiyacı temel bileşenlerden en önemlileridir. Lojistikte daha yüksek otomasyon derecesine dayalı bir optimizasyon, ilgili bilgileri nesnelerin interneti sistemleri aracılığıyla sağlayarak ve paylaşarak, Lojistik 4.0 bağlantılı lojistik ağı düzeyi oluşturarak daha kolay başarılabilmektedir. Yazılım ve veritabanlarına dahil edilmiş akıllı yazılımlar aracılığıyla hem giden lojistiğin hem de gelen lojistiğin optimizasyonu tanımlanabilmektedir. Bu yazılımlar, internet aracılığıyla daha yüksek bir otomasyon derecesi elde etmek için sistemler hakkında bilgi alışverişi sağlamaktadırlar. Örneğin, küresel konumlandırma sistemi haritalama sistemlerini kurumsal kaynak planlama sistemlerine bağlayarak lojistik çizelgelemeyi geliştirmek mümkün olabilir. Ayrıca bu kullanım, şeffaflığa, gelişmiş karar verici verimliliğine, artan ulaşım kapasitesine, kentsel alanlarda ulaşım optimizasyonuna, otomatik istisna raporlarına, dinamik ürün yönlendirmeye ve ulaşım için çevrimiçi karar desteğine yol açacaktır (Anitha vd., 2021: 1).

Lojistik uygulamalarda öne çıkan bir başka optimizasyon uygulaması örneği depo alanı yapısı optimizasyonudur. Depo alanı optimizasyonu, esas olarak ürün yerleşim planlamasını içerir ve çok etmenli bir mimari çözüm bu alanda kullanılabilir. Uyumluluk kısıtlamaları ile ürün tahsis planlaması, ürünün yerleştirilmesi için bir karar mekanizması kullanan, uyumlulukla ilgili araçlar arasındaki müzakerelere dayalı testler gerçekleştirilebilmektedir. Bu müzakere mekanizması nesnelerin internetine dayanır. Ayrıca otomatik depolama sistemleri de karar alma mekanizmalarına yardımcı uygulamalardır (Song vd., 2021: 4262).

## 4. Lojistikte Nesnelerin İnterneti Uygulamasının Temel Zorlukları

Lojistik alanında nesnelerin interneti uygulamasında karşılaşılabilecek temel zorluklar; sistem etkinliği ve sürdürülebilirlik, güvenlik, gizlilik, enerji verimliliği ve yatırım maliyeti alanlarında gruplandırılabilir. Bu alanlarda yaşanabilecek sorunları öncelikle tanımlamak ve sonrasında da sıkıntılıların yaşanmasının önüne geçmek amacıyla çeşitli

araştırmaların yapılması ve etkili önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu nedenle işletmelerin dijital teknoloji kullanım deneyimlerinde nesnelerin interneti teknolojisi için de mümkün olduğunca verimli olmak ve üst düzey faydayı sağlamak amacıyla yeterli hazırlıkları yapması gerekmektedir.

#### 4.1. Sistem Etkinliği ve Sürdürülebilirlik

Geleneksel olarak internetle ilgili olarak, birlikte çalışabilirlik her zaman temel bir değer olmuştur. Bunun için de birbirine internetle bağlı sistemlerin kodlamalar ve protokoller açısından benzer bir dili konuşma yeteneğine sahip olması gerekir. Şu anda, çeşitli endüstriler uygulamalarını desteklemek için çeşitli standartlar kullanmaktadır. Verilerin büyük miktarları ve türleri ile heterojen aygıtlar sayesinde, bu tür çeşitli varlıklarda standart arayüzlerin kullanılması, çok çeşitli sistem sınırlamalarına ek olarak çapraz organizasyonları destekleyen uygulamalar için de çok önemlidir (Hussein, 2019: 81).

Nesnelerin interneti teknolojisinin bileşenleriyle büyük miktarlardaki verinin işlenmesindeki etkinlik ve hız ayrıca işletmelerin rekabet üstünlüklerinde de fark sağlamaktadır. Bir işletmede sistem etkinliğinin ve sürdürülebilirliğin sağlanmasında dijital teknolojilerin etkisi her zaman yadsınamaz konumdadır. Eğer burada bahsi geçen yapı sağlıklı bir şekilde işletmenin nesnelerin interneti teknolojisinin altyapısında sağlanmadığı takdirde lojistik operasyonların etkinliğinde ve sürdürülebilirliğinde optimalliğe ulaşılama problemi ortaya çıkacaktır.

#### 4.2. Güvenlik

Çeşitli akıllı cihazlardan ve iletim protokollerinden oluşan bir sistemde yer alan birçok düğüm vardır. Nesnelerin interneti ağındaki tek bir düğüm saldırıya uğradığında, nesnelerin interneti sistemi felç olabilir ve bunun sonucunda veri kaybı ve nesnelerin interneti sisteminin belirli fonksiyonlarını yitirmesi gibi problemlerle karşılaşılabilir. Lojistik hizmet sağlayıcıları için bu problemi çözmenin en iyi yollarından biri, nesnelerin interneti ağının güvenilirliğini geliştirmektir (Wang vd., 2021: 13).

Nesnelerin interneti cihazlarının ve uygulamalarının katlanarak artmasıyla orantılı olan nesnelerin interneti ile ilgili güvenlik açıkları hızla büyümektedir. Uygun güvenlik önlemlerinin uygulanmaması, bazı nesnelerin interneti üreticileri ve hizmet sağlayıcıları için itibar ve mali cezalar gibi olumsuz sonuçlar doğurmuştur. Bu nedenle, fiziksel ve sanal altyapılardan oluşan hem küçük hem de büyük ölçekli ağlarda nesnelerin interneti cihazlarını ve uygulamalarını siber saldırılardan korumak için güvenlik çok önemli hale gelmiştir (Tsogbaatar vd., 2021: 2). Dijital teknolojilere ilişkin güvenlik sorunlarının çözümü için geliştirilen yaklaşımlar, lojistik alanında da kullanılabilir, bu şekilde sorunların mümkün olduğunca ortadan kalması için yine teknolojiden faydalanma söz konusu olabilecektir.

#### 4.3. Gizlilik

Her geçen gün artan nesnelerin interneti cihazları ve bu cihazlar tarafından üretilen büyük miktardaki verilerle birlikte gizlilik, nesnelerin interneti ekosisteminde kritik bir endişe haline gelmiştir. Bu nedenle, cihazında özel bilgi barındıran cihaz sahibinin nesnelerin interneti ekosisteminde herhangi bir sızıntı olmayacağından emin olmak istemektedir. Bir nesnelerin interneti ortamında kişisel verilerin olası sızması veya kötüye kullanılması, önemli gizlilik ihlallerine neden olabilir. Bu nedenle, verilerin

yetkisiz kuruluşlara sızdırılmadan veya orijinal amaç dışında kullanılmadan kişisel verilerin hukuka uygun, adil ve şeffaf işlenmesini sağlamak için güvenli mekanizmalar gereklidir (Brotsis vd., 2021: 3). Bu mekanizmaların geliştirilmesi lojistik alanında da hem işletmelerin hem de müşterilerin güvenliklerinden emin olmalarını sağlayacak adımların atılmasına yardımcı olacaktır.

#### 4.4. Enerji Verimliliği

Nesnelerin interneti cihazlarının çoğu hareketli olduğundan ve sınırsız bir güç kaynağına bağlı olmadığından, düşük enerji tüketimi nesnelerin interneti teknolojilerini tasarlarken dikkate alınması gereken önemli bir faktördür (Shahid ve Aneja, 2017: 586). Bundan dolayı nesnelerin interneti teknolojisinin temel gereksinimlerinden biri enerji verimliliğidir. Enerji verimli bir ağ, ağır kullanım ömrünün en üst düzeye çıkarılması için minimum enerji tüketimi ile operasyonları yürütme yeteneğine sahip bir ağıdır. Bu gereksinim, sınırlı bir ömre sahip ve çoğu zaman değiştirilemeyen pille çalışan cihazlardan oluştuğundan, bir nesnelerin interneti ağında özellikle arzu edilir (Aboubakar vd., 2021: 4). Enerji verimliliğinin sağlanmasıyla minimum enerji tüketimi hem maliyetler açısından hem de yeşil üretimi benimsemiş işletmeler açısından memnun edici sonuçlar ortaya çıkarabilecektir.

#### 4.5. Yatırım Maliyeti

Nesnelerin internetini lojistikte başarılı bir şekilde uygulamak, tedarik zincirindeki farklı oyuncular ve rakipler arasında yüksek düzeyde katılımın yanı sıra güçlü bir iş birliği ve ortak bir yatırım isteği gerektirecektir. Nesnelerin internetini de içinde barındıran yeni çözümleri uygulamadan önce tüm ağlarda çeşitli varlık türleri için standartlaşmaya gidilmesi gerekir. Bu da önemli miktarda yatırım yapılması gerektiği anlamına gelmektedir (Macaulay vd., 2015: 25). Bilindiği üzere bir çözüm geliştirilirken maliyet analizi yapılmalıdır. Nesnelerin internetinde bilindiği üzere, nesnelerin interneti cihazlarının, sensörlerinin, ağ geçitlerinin ve baz istasyonu altyapısının çeşitliliği nedeniyle başlangıç maliyetleri çok yüksektir (Akhter ve Sofi, 2021: 14). Bunun yanı sıra nesnelerin interneti cihazlarının yönetimi ile veri toplama ve diğer tüm hizmetler arasında bilgi paylaşımı için gerekli olan merkezi hizmetlerin sürdürülebilirliği için ilgili çözümlerin bakım maliyetleri de oldukça yüksektir (Farooq vd., 2019: 156266). Maliyet araştırmaları ve fizibilite çalışmaları sonucunda ölçek ekonomileri ve ödünleşme noktalarının da dikkate alınmasıyla tüm hizmetlere ilişkin farklı maliyet kalemlerinin bir arada değerlendirilmesi gereklidir.

Nesnelerin interneti ürünleri ve çözümleri için uluslararası standartların hala geliştirilme aşamasında olduğu gerçeğine dayanarak, şirketler üçüncü taraf platformları kullanmayı, bünyelerinde bulundukları bileşenleri tek tek değiştirmeyi ve hatta altyapıyı tamamen yükseltmeyi gerekli kılan fonksiyonel uyumsuzluklarla karşı karşıyadır. Nesnelerin interneti sistemini uygulamak isteyen büyük lojistik şirketleri, altyapıyı güncelleme ve nesnelerin interneti teknolojilerinin uygulanmasını yavaşlatan bileşenlerinin uyumluluğunu sağlama ihtiyacıyla karşı karşıyadır (Zaychenko vd., 2021: 194). Herhangi bir yatırım kararı alınmadan önce altyapıya ilişkin çalışmalar da yürütülmeli ve nesnelerin interneti teknolojilerinin kullanımının olurluğunu da araştırmalıdır.

## 5. Sonuç

Dijital teknolojiler günümüz koşullarında lojistik sistemlerindeki yaşanan iş yoğunluğunun düzenlenmesinde ve rekabet artışının getirdiği zorluklarla başa çıkmada büyük önem kazanmaktadır. Nesnelerin interneti de bu alanlarda ihtiyaç duyulan düzenlemeyi sağlamak ve verimliliği artırmak için en uygun araçlardan olan dijital teknolojilerden birisi konumundadır.

Lojistik işletmelerinin, faaliyet gösterdikleri pazardaki mevcut konumlarında kalıcı olmak ve hatta yeni pazarlara girebilmek için rekabet güçlerini geliştirmeleri gerekmektedir. Rekabetçi pazar ortamlarına uyum sağlamak amacıyla lojistik işletmelerinin gerçekleştirdikleri faaliyetlerde iyileştirmeye gitmeleri gerekmektedir. Bunun için de lojistik faaliyetlerinin dijitalleştirilmesi gerekir. Dijitalleşme yolunda nesnelerin internetinin entegre olduğu ağlar tarafından oluşturulan ve kaydedilen büyük veriler, lojistik işletmelerinin gerçekleştirdikleri faaliyetler için veriye dayalı çözümler ve geleceğe dönük projeleri için stratejiler oluşturmasına olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada, lojistik alanında faaliyet gösteren şirketlerin, gerçekleştirdikleri faaliyetlerde nesnelerin interneti teknolojisinin entegrasyonu sonucunda elde edebilecekleri faydalar incelenmiştir. Nesnelerin interneti uygulamalarında kullanılan veri toplama teknolojileri açısından tanımlama, algılama ve izleme amaçlarına yönelik uygulamalar lojistik alanında gereksinimlerin karşılanmasına büyük katkılar sunabilecek fonksiyonlar olacaktır.

Lojistik sektörü dahilinde gerçekleştirilen faaliyetlerde dijital dönüşümün sağlanmasıyla nesnelerin interneti uygulamaları farklı alanlarda değerlendirilebilmektedir. Bu alanlar, taşımacılık yönetimi, depo yönetimi, elleçleme, paketleme, dağıtım, lojistik bilgi işlem sistemi, talep tahmini ve optimizasyon şeklinde gruplandırılabilir ve farklı ihtiyaçlar söz konusu olduğunda nesnelerin interneti teknolojisi olanakları yeniden değerlendirilebilir. Ele alınan bu alanlarda teknolojinin kullanımıyla rekabet avantajının sağlanması ve verimliliğin artırılması mümkün olabilecektir.

Çalışmada ayrıca şirketlerin lojistik faaliyetlerinde nesnelerin internetini benimserken karşılaşılabilecekleri zorluklara da değinilmiştir. Lojistikte nesnelerin interneti kullanımı üzerine yapılan çalışmaların sistematik bir incelemesini sağlayan bu çalışma, nesnelerin interneti teknolojisinin lojistik faaliyetler üzerindeki etkisi ve şirketlerin nesnelerin interneti teknolojisini faaliyetlerine entegre ederken nelere dikkat etmesi gerektiği hakkında bir rehber niteliğinde olacak ve literatürdeki bu alandaki boşluğu nispeten dolduracak şekilde hazırlanmıştır.

Sonuç olarak nesnelerin interneti teknolojisi, lojistik faaliyetlerinde büyük bir potansiyele ve öneme sahiptir. Bu potansiyelin önümüzdeki yıllarda dikkatli bir şekilde ele alınarak ihtiyaçların giderilmesi lojistik sektöründe büyük gelişmeler sağlayacak ve alınacak yolda kullanılacak bu teknolojiler her aşamadan geçişi kolaylaştıracak bir araç özelliğini kazanacaktır.

## Kaynakça

Aboubakar, M., Kellil, M., ve Roux, P. (2021). A review of IoT network management: Current status and perspectives. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.03.006>

- Agostino, Í. R. S., Ristow, C., Frazzon, E. M., ve Taboada Rodriguez, C. M. (2020, 2020//). *Perspectives on the Application of Internet of Things in Logistics*. Paper presented at the Dynamics in Logistics, Cham.
- Akhter, R., ve Sofi, S. A. (2021). Precision agriculture using IoT data analytics and machine learning. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.05.013>
- Anitha, K., Palaksha Reddy, K., Krishnamoorthy, N., ve Jaiswal, S. (2021). IoT's in enabling the supply chain visibility and connectivity and optimization of performance. *Materials Today: Proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.343>
- Arif, J., el Farouk, I., Mouzouna, Y., ve Jawab, F. (2019). *The use of internet of things (IoT) applications in the logistics outsourcing: Smart RFID tag as an example*. Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Bangkok, Thailand.
- Atzori, L., Iera, A., ve Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805. doi:<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Babun, L., Denney, K., Celik, Z. B., McDaniel, P., ve Uluagac, A. S. (2021). A survey on IoT platforms: Communication, security, and privacy perspectives. *Computer Networks*, 192, 108040. doi:<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108040>
- Brotsis, S., Limniotis, K., Bendiab, G., Kolokotronis, N., ve Shiales, S. (2021). On the suitability of blockchain platforms for IoT applications: Architectures, security, privacy, and performance. *Computer Networks*, 191, 108005. doi:<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108005>
- Buntak, K., Kovačić, M., ve Mutavdžija, M. (2019). Internet of things and smart warehouses as the future of logistics. *Tehnički glasnik*, 13(3), 248-253.
- Delgosha, M. S., Hajiheydari, N., ve Talafidaryani, M. (2021). Discovering IoT implications in business and management: A computational thematic analysis. *Technovation*, 102236. doi:<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102236>
- Ding, Y., Jin, M., Li, S., ve Feng, D. (2021). Smart logistics based on the internet of things technology: an overview. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 24(4), 323-345. doi:10.1080/13675567.2020.1757053
- Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Abid, K., ve Naeem, M. A. (2019). A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming. *IEEE Access*, 7, 156237-156271. doi:10.1109/ACCESS.2019.2949703
- Firouzi, F., Farahani, B., ve Marinšek, A. (2021). The convergence and interplay of edge, fog, and cloud in the AI-driven Internet of Things (IoT). *Information Systems*, 101840. doi:<https://doi.org/10.1016/j.is.2021.101840>
- Fizza, K., Banerjee, A., Mitra, K., Jayaraman, P. P., Ranjan, R., Patel, P., ve Georgakopoulos, D. (2021). QoE in IoT: a vision, survey and future directions. *Discover Internet of Things*, 1(1), 4. doi:10.1007/s43926-021-00006-7
- Golpîra, H., Khan, S. A. R., ve Safaeipour, S. (2021). A review of logistics Internet-of-Things: Current trends and scope for future research. *Journal of Industrial Information Integration*, 22, 100194. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100194>
- Gulati, K., Kumar Boddu, R. S., Kapila, D., Bangare, S. L., Chandnani, N., ve Saravanan, G. (2021). A review paper on wireless sensor network techniques in Internet of Things



- (IoT). *Materials Today: Proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.067>
- Hu, P., Ning, H., Qiu, T., Zhang, Y., ve Luo, X. (2017). Fog Computing Based Face Identification and Resolution Scheme in Internet of Things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13(4), 1910-1920. doi:10.1109/TII.2016.2607178
- Hussein, A. R. H. (2019). Internet of things (IOT): Research challenges and future applications. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(6), 77-82.
- Ibarra-Esquer, J. E., González-Navarro, F. F., Flores-Rios, B. L., Burtseva, L., ve Astorga-Vargas, M. A. (2017). Tracking the Evolution of the Internet of Things Concept Across Different Application Domains. *Sensors*, 17(6), 1379.
- Jagtap, S., Duong, L., Trollman, H., Bader, F., Garcia-Garcia, G., Skouteris, G., . . . Rahimifard, S. (2021). Chapter 5 - IoT technologies in the food supply chain. In C. M. Galanakis (Ed.), *Food Technology Disruptions* (ss. 175-211): Academic Press.
- Kavre, M., Gadekar, A., ve Gadhadre, Y. (2019, 18-20 Dec. 2019). *Internet of Things (IoT): A Survey*. Paper presented at the 2019 IEEE Pune Section International Conference (PuneCon).
- Lawal, K., ve Rafsanjani, H. N. (2021). Trends, benefits, risks, and challenges of IoT implementation in residential and commercial buildings. *Energy and Built Environment*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.01.009>
- Lydekaityte, J., ve Tambo, T. (2020). Smart packaging: definitions, models and packaging as an intermediary between digital and physical product management. *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, 30(4), 377-410. doi:10.1080/09593969.2020.1724555
- Macaulay, J., Buckalew, L., ve Chung, G. (2015). *Internet of things in logistics*. Retrieved from
- Ouyang, Q., Zheng, J., ve Wang, S. (2019). Investigation of the construction of intelligent logistics system from traditional logistics model based on wireless network technology. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2019(1), 20. doi:10.1186/s13638-018-1334-8
- Rey, A., Panetti, E., Maglio, R., ve Ferretti, M. (2021). Determinants in adopting the Internet of Things in the transport and logistics industry. *Journal of Business Research*, 131, 584-590. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.12.049>
- Ruile, H. (2021). How the Internet of Things Drives Innovation for the Logistics of the Future. In R. Dornberger (Ed.), *New Trends in Business Information Systems and Technology: Digital Innovation and Digital Business Transformation* (ss. 267-280). Cham: Springer International Publishing.
- Sabireen, H., ve Venkataraman, N. (2021). A Review on Fog Computing: Architecture, Fog with IoT, Algorithms and Research Challenges. *ICT Express*, 7(2), 162-176. doi:<https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.05.004>
- Said, O., ve Tolba, A. (2021). Accurate performance prediction of IoT communication systems for smart cities: An efficient deep learning based solution. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102830. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102830>
- Sergi, I., Montanaro, T., Benvenuto, F. L., ve Patrono, L. (2021). A Smart and Secure Logistics System Based on IoT and Cloud Technologies. *Sensors*, 21(6), 2231.
- Shahid, N., ve Aneja, S. (2017, 10-11 Feb. 2017). *Internet of Things: Vision, application areas and research challenges*. Paper presented at the 2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC).
- Singh, S. K., ve Roy, S. (2020). *Internet of Things (IoT) Based Green Logistics Operations for Sustainable Development in the Indian Context*, Singapore.
- Song, Y., Yu, F. R., Zhou, L., Yang, X., ve He, Z. (2021). Applications of the Internet of Things (IoT) in Smart Logistics: A Comprehensive Survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(6), 4250-4274. doi:10.1109/JIOT.2020.3034385
- Statista. (2021). Number of Internet of Things (IoT) connected devices worldwide from 2019 to 2030, <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>, (Erişim Tarihi: 13.07.2021)
- Taliaferro, A., Ernst, R., Ahmed, U., Harollikar, A., ve Ray, S. (2019). *Creating IoT ecosystems in transportation: Logistics companies are looking to connect IoT technologies to traditional systems*. Retrieved from Toronto, Canada:
- Thomas, M. O., ve Rad, B. B. (2017). Reliability evaluation metrics for internet of things, car tracking system: a review. *Int. J. Inf. Technol. Comput. Sci. (IJITCS)*, 9(2), 1-10.
- Tran-Dang, H., Krommenacker, N., Charpentier, P., ve Kim, D.-S. (2020). The Internet of Things for Logistics: Perspectives, Application Review, and Challenges. *IETE Technical Review*, 1-29. doi:10.1080/02564602.2020.1827308
- Tsogbaatar, E., Bhuyan, M. H., Taenaka, Y., Fall, D., Gonchigsumlaa, K., Elmroth, E., ve Kadobayashi, Y. (2021). DeL-IoT: A deep ensemble learning approach to uncover anomalies in IoT. *Internet of Things*, 14, 100391. doi:<https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100391>
- van Geest, M., Tekinerdogan, B., ve Catal, C. (2021). Design of a reference architecture for developing smart warehouses in industry 4.0. *Computers in Industry*, 124, 103343. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103343>
- Verdouw, C. N., Robbmond, R. M., Verwaart, T., Wolfert, J., ve Beulens, A. J. M. (2018). A reference architecture for IoT-based logistic information systems in agri-food supply chains. *Enterprise Information Systems*, 12(7), 755-779. doi:10.1080/17517575.2015.1072643
- Wang, J., Lim, M. K., Wang, C., ve Tseng, M.-L. (2021). The evolution of the Internet of Things (IoT) over the past 20 years. *Computers & Industrial Engineering*, 155, 107174. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107174>
- Yu, W. (2019). *Research on Optimization of Logistics Management Information System Based on Internet of Things*. Paper presented at the 2019 5th International Conference on Education Technology, Management and Humanities Science (ETMHS 2019).
- Zaychenko, I., Smirnova, A., Shytova, Y., Mutaliev, B., ve Pimenov, N. (2021). *Digital Logistics Transformation: Implementing the Internet of Things (IoT)*, Cham.
- Zhang, D., Liu, Y., Han, K., Liu, A., ve Liu, L. (2012). *The Application of RFID-Based on IOT in Logistics Management*, Berlin, Heidelberg.
- Zhang, G., Shang, X., Alawneh, F., Yang, Y., ve Nishi, T. (2021). Integrated production planning and warehouse storage assignment problem: An IoT assisted case. *International Journal of Production Economics*, 234, 108058. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108058>
- Zhang, H., Zhang, G., ve Cai, X. (2021). *Logistics Transfer Center Planning Based on Internet of Things Technology*, Cham.





# Altyapı Sorunlarına Yenilikçi Çözüm Önerilerinin Getirilmesi

Muhammed Ernur Akıner<sup>1\*</sup>, İlknur Akıner<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Antalya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5192-2473), [ernurakiner@akdeniz.edu.tr](mailto:ernurakiner@akdeniz.edu.tr)

<sup>2</sup>Akdeniz Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Antalya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9550-146X), [ilknurakiner@akdeniz.edu.tr](mailto:ilknurakiner@akdeniz.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 7 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 25 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1006062)

**ATIF/REFERENCE:** Akıner, M. & Akıner, İ. (2021). Altyapı Sorunlarına Yenilikçi Çözüm Önerilerinin Getirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 755-763.

## Öz

İstanbul'da hızlı nüfus artışı ve yeterli denetimlerin olmaması nedeniyle 90'lı yıllara kadar çarpık yapılaşmanın hızla arttığı görülmüştür. 1995'den günümüze kadar çarpık yapılaşmanın önlenmesi amacıyla teknolojiden yararlanılarak denetimler artırılmış ve toplu konut yapımlarına hız verilmiştir. Şehrin imara açık bölgelerinde her tür altyapısı planlı olan uydu kentler oluşturulmaktadır. Son yıllarda uydu kentlerin kurulmasına hız verilmesine rağmen, ilin büyük bir bölümünde geçmişten kalan çarpık yapılaşma mevcuttur. Sürdürülebilir kalkınma; yüksek altyapı maliyetlerinin minimuma indirilmesi, kentsel planlama ve altyapı hizmeti veren kurumların birlikte planlarını oluşturması ile mümkündür. Ancak İstanbul'un büyük bir bölümünde şehirleşme süreci tamamlandığından bunun için geç kalındığı da anlaşılmaktadır. Bu noktada öncelikle yapılması gereken mevcut altyapı sorunlarının çözümünün bir merkezden gerçekleştirilmesidir. Yani su ve kanalizasyon, elektrik, telefon ve doğalgaz altyapı hizmetlerini sunan kurumlar ile belediyelerin ulaşım hizmetleri arasında koordinasyonun bir merkezden sağlanmasıdır. Altyapılar genellikle yollar ve kaldırım altlarına inşa edildiğinden ilgili belediyelerin ulaşım altyapısı da dikkate alınmalıdır. Yeraltı altyapı sistemlerinin sıklıkla hasar görmesi ve kamu hizmetlerine yönelik artan talep nedeniyle sürekli olarak yenileme gerektirmesi, daha verimli kurulum, denetim, onarım, rehabilitasyon ve sonuç olarak geleneksel altyapı hizmetlerinin değiştirilmesi gerekliliğini artırmıştır. Geleneksel açık inşaat yöntemleriyle, asfalt yenileme, kaldırımlar, çevre düzenlemesi ve tuğla döşeme gibi zemin yüzeylerini restore etme ihtiyacı nedeniyle doğrudan maliyetler büyük ölçüde artmaktadır. İstanbul ilinde su, elektrik, doğalgaz ve telefon gibi altyapı sistemlerinin bir arada döşenebilmesini sağlayan "Utility Tunnel" olarak bilinen "kapaklı betonarme altyapı tünellerinin" tesis edilmesi durumunda tamir ve yenilemenin çok daha kolay yapılabileceği düşünülmektedir. Yapılması öngörülen çalışmada nihai hedef birçok altyapı sorunu senaryosunun oluşturulabileceği, problemler ortaya çıkmadan gerekli çözümlerin bulunabileceği ve koordinasyonu sağlayan bir merkezin oluşturulması ile İstanbul'un altyapı sistemlerine özgü kısa ve uzun vadeli yenilikçi ve ekonomik çözümlerin bulunmasıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilirlik, Altyapı Tüneli, Yenilikçi Altyapı, Tünel Sistemler.

## Innovative Solution Suggestions to Infrastructure Problems

### Abstract

Istanbul's unplanned buildings expanded significantly until the 1990s due to high population expansion and insufficient inspections. Inspections have been enhanced, and mass home development has been expedited from 1995 to the present by utilizing technology to avoid uncontrolled construction. Satellite cities with various types of infrastructure are being developed for sections of the city that are available for development. Although the development of satellite cities has been expedited in recent years, a significant portion of the province still has a skewed settlement from the past. Sustainable development is only feasible if entities that provide urban planning and infrastructure services collaborate to design their plans. However, because the urbanization process has been finished in a significant portion of Istanbul, it is recognized that this is too late. The initial step at this stage is to address current infrastructure

\* Sorumlu Yazar: [ernurakiner@akdeniz.edu.tr](mailto:ernurakiner@akdeniz.edu.tr)

issues from a central location. In other words, it is the coordination from the central area of the institutions supplying water and sewage infrastructure, power, telephone, and natural gas infrastructure, and municipal transportation services. Because infrastructures are typically developed beneath roads and pavements, the appropriate towns' transportation infrastructure should also be considered. The need for more effective installation, inspection, repair, rehabilitation, and ultimately replacement of traditional infrastructure services has grown as a result of the frequent destruction of subsurface infrastructure systems and the necessity for constant renewal owing to rising utility demand. Due to the necessity of replacing ground surfaces such as asphalt regeneration, sidewalks, landscaping, and bricklaying, direct costs of traditional open-cut construction methods rise dramatically. It is believed that installing "reinforced concrete infrastructure tunnels" known as "Utility Tunnels," which allow electricity, telephone, natural gas, and water infrastructure systems to be linked together, will make maintenance and renewal considerably easier. The project's ultimate goal is to establish a center where many infrastructure problem scenarios can be created and necessary solutions can be found before problems arise, as well as to establish a center that provides coordination and finds short and long-term innovative and economical solutions specific to Istanbul's infrastructure systems.

**Keywords:** Sustainability, Infrastructure Tunnel, Innovative Infrastructure, Tunnel Systems.

## 1. Giriş

Kırsal tarım topluluklarıyla taban tabana zıtlık içinde olan kentleşme eğiliminin 2050 yılına dek %70'lik bir oranda artacağı öngörülmektedir (Hall & Pfeiffer, 2013). Dünya çapında kentsel arazi kullanımındaki bu mevcut eğilimler, büyük ölçüde yer üstü genişlemeye odaklanmaktadır ve birçok kentsel merkezde, yeraltı alanı şu anda yeterince kullanılmamaktadır (Sterling vd., 2012). Sürdürülebilir kalkınmayı sağlamanın bir yolu olarak yüzeydeki artan arazi baskılarının neden olduğu kentsel ortamlarda yeraltı alanını kullanma ihtiyacının karşılanması Brundtland (1987) raporunda dile getirildikten sonra daha da yaygın bir şekilde kabul görmektedir (Parriaux vd., 2007). Gaz, su, kanalizasyon boruları, elektrik ve telekomünikasyon kabloları gibi kamu hizmetleri ağları yerin üstünde ve altında geliştirilmektedir. Kentsel alanlardaki yer üstü hizmetleri, estetik sorunlar, sınırlı kentsel alanın işgali, sınırlı erişilebilirlik alanı ve kasırga, aşırı yüksek veya düşük sıcaklık gibi hava değişikliklerine maruz kalan kamu hizmetleriyle ilgili güvenlik sorunlarına neden olmaktadır. Bu nedenle, altyapı tünelleri özellikle kentsel alanlarda, hizmet ağlarının geliştirilmesi açısından oldukça fayda sağlamaktadır (Gagnon vd., 2008).

Sosyal ve çevresel faktörler dikkate alındığında, açık kesim altyapı yenileme teknikleri, istenmeyen kirlilik ve trafik kesintileri nedeniyle toplum, iş dünyası ve taşıtlar üzerinde olumsuz etkilere sahiptir (Shahrour vd., 2020). Yeraltı altyapı sistemlerini minimum yüzey bozulmasıyla onarmak, yenilemek veya eklemeler yapmak için kullanılan kazısız teknolojiler, mevcut açık kesme yöntemlerine uygun bir alternatif sunar. Bu çalışmada karar vericilere bazı durumlarda kazısız teknolojiyi en ekonomik alternatif haline getirebilmek için bu maliyetleri doğrudan sermaye maliyetleriyle birleştirmeyi düşünmeleri önerilir. Ayrıca verimlilik, işçi güvenliği ve yapısal sorunlar, kazısız teknolojinin yeraltı altyapı sistemleri için daha verimli bir yöntem olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, Kazısız Alt Yapı Sistemi, şehirlerin altyapılarını kurmaları için geleneksel açık-kesim kamu hizmetleri kurulumuna kıyasla daha sürdürülebilir bir yöntemdir (Yin vd., 2020). Bu makalede ayrıca Yatay Yönlü Sondaj (HDD) kullanılarak nehir gibi engellerin altından ara bağlantıların inşasının da mümkün olabileceği belirtilmiştir.

Su, elektrik, doğalgaz ve telefon gibi altyapı sistemlerinin bir arada döşenebilmesini sağlayan kapaklı betonarme altyapı tünellerinin tesis edilmesi durumunda tamir ve yenileme çok daha kolay yapılabilir. Bu tip sistemler esasen yurtdışında

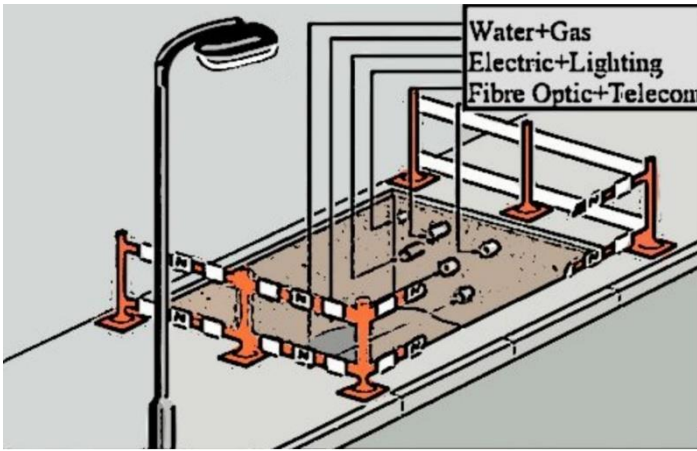
gelişmiş ülkelerde kullanılmaya başlanmıştır (Riera & Pasqual, 1992). 1800'lü yılların başında kömürden üretilen şehir gazını binalara iletmek amacıyla kurulan yer altı gaz şebekesi sığ derinlikte yaya yolunun altına gömülmüştür ve 19. yüzyıldan itibaren yaygın olarak kabul edilen bir çözüm olmuştur (Rogers & Hunt, 2006). Altyapı tünelleri, su iletimi, telekomünikasyon, gaz tedarik sistemi vb. gibi birçok altyapı hattını içeren bir entegrasyon sistemidir, bu nedenle toplumun ve ekonominin sağlıklı gelişimini sürdürmek için kilit bir faktör olarak görülmektedir (Yang & Wang, 2013). Günümüz iletişim teknolojileri kapsamında akıllı altyapı sistemleri de oluşturulabilmektedir. Bu sayede akıllı altyapı sistemlerinde kullanılan sensörlerle toplanan veriyi ileten, analiz eden, ölçen, izleyen ve daha gelişmiş performans ve kullanıcı deneyimi için kullanıcı talepleri ve çevredeki değişikliklere akıllı şekilde yanıt verebilen ve kamusal değer oluşturan bir yapı oluşturulmaktadır. Kullanım ömrü boyunca, doğru yerde kullanıldığı ve doğru sayıda kamu hizmetini barındırdığı sürece, altyapı tünellerinin ekonomik olarak daha sürdürülebilir bir kamu hizmeti sağlayabileceği anlaşılmaktadır (Hunt vd., 2014).

İstanbul için önerilen kapaklı betonarme altyapı tünellerinin kurulmasıyla su, elektrik, doğalgaz ve telefon altyapısının yenilenmesinin çok daha kolay olması beklenmektedir. Bu nedenle altyapı hizmetlerinin birleştirilmesi ve tek bir merkezden yönetilmesi için prefabrike altyapı tünelleri (Utility Tunnels) öncelikli olarak değerlendirilmektedir. Ancak İstanbul'un coğrafi ve arazi kullanım yapısı düşünüldüğünde hemen akla dar ve dik yokuşlu sokaklar gelmektedir. Önerilen altyapı tünelleri, içeride bir veya birkaç kişinin rahatça çalışabileceği şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca bu ölçekteki betonarme tünelin dar ve dik bir cadde veya kaldırımın altına yerleştirilmesi mümkün değildir. Bunun yerine sokaklarda kazısız teknoloji gibi alternatif altyapı sistemleri, ana sisteme bağlantı amaçlı kullanılabilir. Özetle, altyapı tünellerinin alternatif altyapı sistemleri ile desteklenmesi gerekmektedir. Bunu yaparken alternatif altyapı sistemlerinin izlenmesi de dikkate alınmalıdır. Fiber optik sensörler, başta boru hatları olmak üzere altyapı sistemlerinin sağlığının izlenmesine yardımcı olur. Alternatif altyapı sistemlerinin neler olabileceğine karar vermeden önce İstanbul ile aynı özellikleri gösteren bazı şehirlerin incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla sokakları dar ve nüfusu yoğun dünya şehirlerinde kullanılan kazısız boru ve kablo döşeme teknolojileri araştırılmıştır.

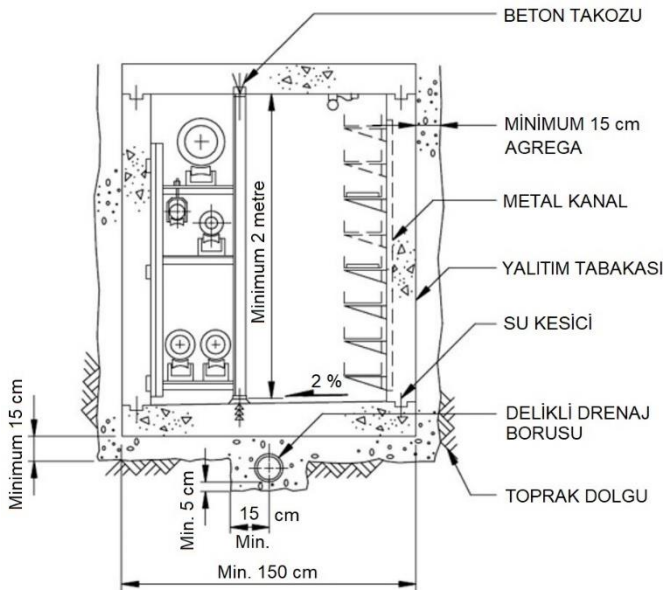
İstanbul için bu tünellerin araç yükünün maksimum olduğu yolun ortasından değil, kaldırım ve yol kenarları hizasında simetrik olarak tesis edilmesi düşünülmektedir (Bkz. Şekil 1).

University of Washington – Engineering Services (2017) tarafından uygulanan örnek en kesitte boyutlandırılmış tip kanal sistemi Şekil 2’de görülmektedir. Altyapı sorunlarına yenilikçi bir çözüm oluşturan bu sistemin, kent açısından önemli faydalar sağladığı anlaşılmaktadır (Yang & Wang, 2013; Gagnon vd., 2008; Rogers & Hunt, 2006). Bu sistemin faydaları:

- \* Düşük kurulum maliyeti.
- \* Altyapı iletişiminin tüm hizmetler için tek noktadan yapılması.
- \* Farklı zamanlarda çok sayıda bağlantı gerektiren teçhizatlarda daha fazla esneklik.
- \* Daha verimli, zaman tasarruflu uygulama.
- \* Daha az kazı.
- \* Sağlıklı, güvenli ve kaliteli sistem.



Şekil 1. Kaldırım ve yol kenarları hizasında döşenen altyapı için temsili resim, tüm altyapı sistemleri bir arada.



Şekil 2. Örnek betonarme kanal en kesiti.

Kazısız teknoloji, altyapı tünellerinin uygulama kolaylığı için yenilikçi bir yaklaşımdır. Zamandan ve işçilikten tasarruf gibi birçok avantaj sağlar. Ayrıca, geleneksel altyapı sistemlerinin uygulanamadığı bazı alanlarda kazısız teknoloji

yardımcı olabilir. Altyapı sistemi yolun her iki tarafına yerleştirilmek isteniyorsa ve tek hat üzerinde devam etmesi için belirli noktalarda birleştirilmesi gerekiyorsa, yan bağlantı amaçlı fazladan kazılara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür bir işlem çok pahalı olduğu için uygun değildir ve ayrıca bir hafriyat nedeniyle belirli bir süre nakliye engeller.

Özellikle İstanbul'un dar ve dik yokuşlu sokakları için kapaklı betonarme altyapı tünellerinin kurulması pek mümkün olmayacaktır. Bu nedenle, en iyi yaklaşım, altyapının uygulanmasında optimum sonucu elde etmek için birden fazla yenilikçi teknolojinin kombinasyonu olabilir. Bu çalışmada kazısız boru ve kablo döşeme teknolojileri ele alınmaktadır. Ayrıca, güvenlik sorunları göz önünde bulundurularak, altyapı sistemlerinin sağlığının izlenmesine yardımcı olan fiber optik sensörlerin uygulanması araştırılmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

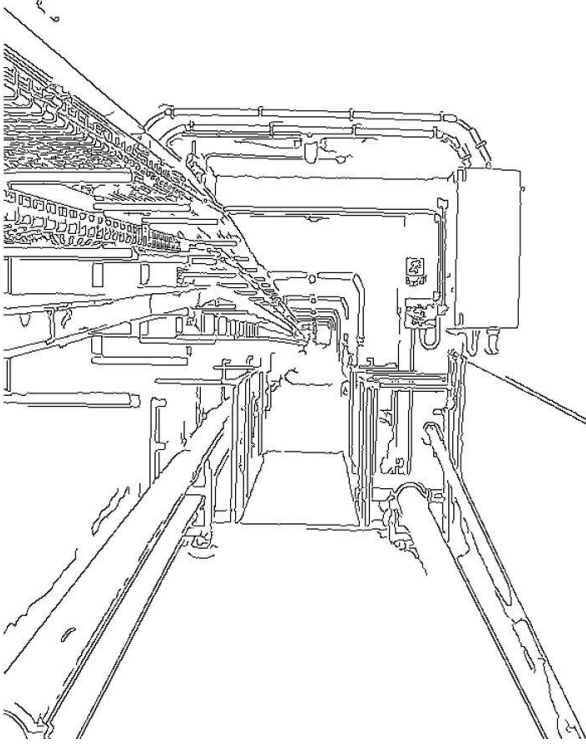
### 2.1. Altyapı Tüneli (Utility Tunnel) Sistemi

Utility Tunnel olarak da bilinen bu tüneller bir yada birkaç kişinin rahatlıkla çalışabileceği ölçülerde boyutlandırılmalıdır (AbouRizk vd., 1999; Canto-Perello & Curiel-Esparza, 2001; Canto-Perello vd., 2009). Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri Capitol Ziyaretçi Merkezi (United States Capitol Visitor Center) için inşa edilen Utility Tunnel Şekil 3’de görülmektedir. İstanbul için önerilen sistemde oluşturulacak betonarme trapez ya da dikdörtgen en kesitli tünel üzerinde bundan farklı olarak toprak bulunmayacaktır. Utility tunnel belli aralıklarla betonarme bir kapakla örtülür, bu aynı zamanda tünele giriş noktasıdır. Su, kanalizasyon, elektrik, gaz, telefon ve merkezi ısıtma içeren altyapı tüneli örneği ve örnek bir giriş ise Şekil 4 ve 5’te gösterilmektedir.



Şekil 3. United States Capitol Visitor Center Utility Tunnel iç görünüşü (Capitol Visitor Center Project Office, 2005).





Şekil 4. Su, kanalizasyon, elektrik, gaz, telefon ve merkezi ısıtma içeren temsili altyapı tüneli örneği.



Şekil 6. Prefabrike altyapı tünelinin taşınması ve birleştirilmiş hali.

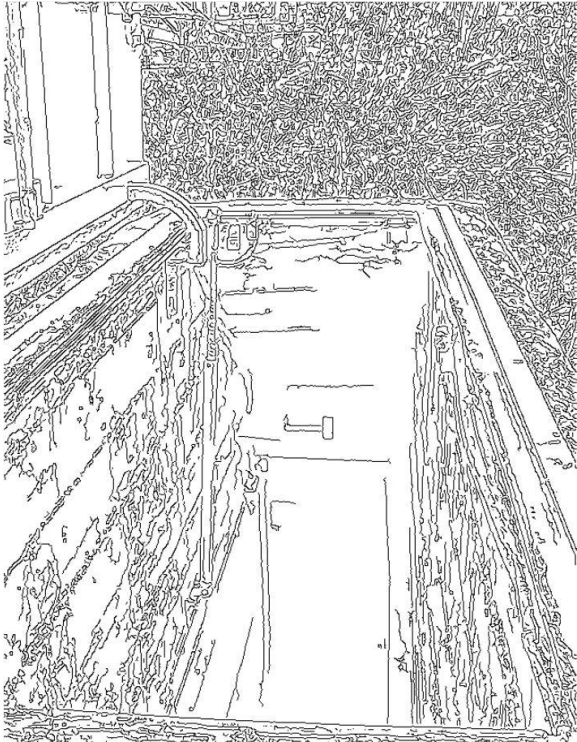
## 2.2. Kazısız Alt Yapı Sistemi

Özellikle iki lokasyonun konvansiyonel bir kazı ile yatay bağlanmasına engel olan yerlerde kazısız boru ve kablo döşeme teknolojileri kullanılmaktadır. Örneğin iki yer arasında nehir varsa bağlantı nehrin altından yapılmalıdır. Ancak bir tünelin kazılması uzun zaman alır ve toprağın su altındaki stabilitesi aşılması zor bir konu olduğundan kalifiye işçilik gerektirir. Bu çalışma, bu yenilikçi teknolojinin dar, dik sokaklarda ve yoğun nüfuslu alanlarda da başarıyla kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Bu amaçla Birleşik Arap Emirlikleri, Kanada ve ayrıca Çin'in dar sokakları ve yoğun nüfuslu Şanghay ve Chongqing şehirleri de dahil olmak üzere birçok örnek araştırılmıştır (Ariaratnam vd., 2006; Ariaratnam vd., 1999; Ma & Najafi, 2008; Zaneldin, 2007). Araştırmalar, bu teknolojinin dar ve dik sokaklarda altyapının uygulanmasıyla ilgili birçok sorunu kazıya ihtiyaç duymadan aşmak için oldukça uygun olduğunu göstermektedir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Açıkçası, ilk yatırım maliyet geleneksel uygulamalar düşünüldüğünde daha büyük olacaktır. Bu noktada maliyeti düşürmek için ne yapabileceğimizi düşünmemiz gerekir. Örneğin makina kirası, işçi mesaisini düşürmek amacıyla hızlı kazı yapabilen özel makineler kullanılabilir, zaten kesit belli büyüklükte olacağından tip kazı yapılarak kazı maliyeti azaltılabilir. Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde altyapı sisteminin rehabilitesi ilk etapta mevcut sistemin yeni sisteme entegre edilmesi yoluyla sağlanabilir. Kalabalık yerlerde yeni sistem için yapılan kazılarda, eski sistemin hasar görmesi, halkın su, elektrik, gaz gibi ihtiyaçlarında aksamaya gidilmesine neden olacaktır. Hizmet sürekliliğini sağlamak ve kazı sırasında altyapının zarar görmesini önlemek amacı ile mevcut altyapı haritasının tamamının son derece detaylı şekilde bir araya toplanması ve incelenmesi zorunludur.

Önerilen altyapı tünellerinin kaldırım hizasında olması düşünülmektedir. Maliyeti azaltıcı bir öneri de üst prefabrike betonarme kapağın desenli olarak dökülmesidir. Desenli betonarme kaldırım yolu uygulamalarının örneklerine dünyada sıkça rastlanmaktadır, kaldırım taşı görünümü verilmiş beton



Şekil 5. Temsili altyapı tüneli girişi örneği.

Prefabrike altyapı tünelleri fabrikada hazırlanıp sahaya taşınabilmekte ve kolaylıkla monte edilebilmektedir (Ruiz, 2009). Sistemin pratikliğini de yansıtan temsili uygulama örneği Şekil 6'da görülmektedir.

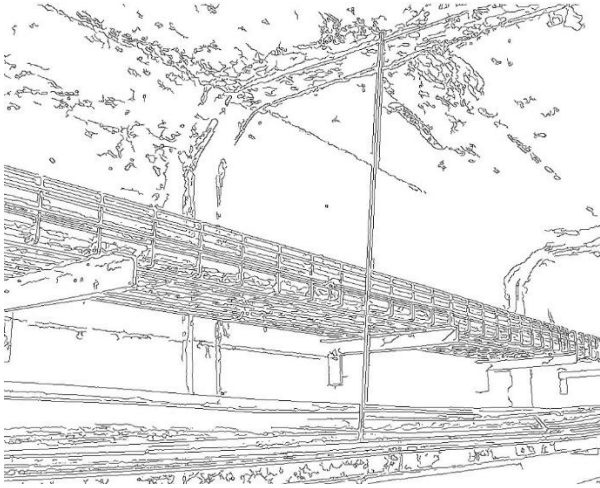


yüzey hem maliyeti azaltacaktır hem de estetik anlamda herhangi bir kayba uğranmasının da önüne geçilmiş olacaktır (Rivard Concrete, 2014; Bennett, 2005).

Geçmişte, doğal gaz boru hatları doğrudan yolların altına gömülürdü, toprağın havayı izole etmeye yardımcı olmasına rağmen, boru korozyonu riski önemli ölçüde artmaktaydı (Li vd., 2019). Kapaklı betonarme altyapı tünelinin koruyucu etkisi ile boru hatlarının toprak ve yeraltı suyu erozyonu ile korozyona uğraması veya fırtına, tayfun, deprem gibi doğal afetlerden zarar görmesi engellenebilmektedir (Wang vd., 2020). Havalandırma sistemi ve gelişmiş sensörler ile donatılan altyapı tüneli izole yapısı ile borularda korozyon riskini azaltmaktadır (Zhou vd., 2021). Elektrik çarpması, geleneksel elektrik kabloları için yaygın bir kazadır, ancak altyapı tünellerindeki kablolar nispeten kontrollü bir alanda düzenlenmiştir ve bu riski azaltmaktadır (Wu vd., 2021).

Bazı borularda, boru içinden geçen malzemenin donması, muhtemel gaz sızıntısı, elektrik kablolarıyla etkileşim vb. nedenlerle yalıtım gerekebilir (Canto-Perello & Curiel-Esparza, 2006). Deformasyon durumunda potansiyel tehlike oluşturabilecek yalıtım malzemelerinin bakım onarım çalışmaları da ihmal edilmemelidir.

Kablo rafları erişilebilirliği kolaylaştırmak amacı ile duvarlara monte edilmektedir (Bkz. Şekil 7). Kalabalık kablo yığınları hava almayan ortamlarda ısı dağılımı sağlanamadığından yangın üretebilmektedir (Curiel-Esparza & Canto-Perello, 2005). Kablo raf sistemi ile bu tehlikenin önüne geçilmiş olmaktadır.



Şekil 7. Temsili kablo rafları.

Altyapı tünelleri belli standartlara göre ve birçok etkene göre boyutlandırılmaktadır. İşçilerin rahat ve sağlıklı çalışmasını sağlayacak ortamın oluşturulması, kablo ve boruların etkileşimini engelleyecek şekilde sıralanması, montaj ve demonte işlerinin kolaylıkla yapılacağı geniş ortamın sağlanabilmesi gibi birçok faktör göz önüne alınarak örnek boyutlandırmalar yapılmış ve literatürde yer bulmuştur (Canto-Perello & Curiel-Esparza, 2001).

Bir işçinin rahatlıkla çalışabileceği ölçüde boyutlandırılan örnek altyapı tüneli ve boyutları Canto-Perello & Curiel-Esparza (2001) tarafından belirlenmiştir. Raflar arasında bir işçinin çalışmasına engel olmayacak ölçüde yeterli genişliğin mutlaka sağlanması gerekmektedir.

Bir işçi kolaylıkla en üst rafa dahi ulaşabilmeli ve arızayı giderebilmelidir. Boyutlandırılma yapılırken buna dikkat edilmesi gerekmektedir.

Maksimum raf yüksekliği 190 cm'yi aşmamalıdır (Canto-Perello & Curiel-Esparza, 2001). Rafların derinliği fazla olamamalıdır, aksi halde kabloların ulaşım ve tamirat noktasında zorluklarla karşılaşılabilir. Omuz hizası raf derinliğinin 30 cm'yi, omuz – göbek hizası arasındaki rafların derinliğinin 60 cm'yi, göbek hizası altındaki raflarda derinliğin 45 cm'yi geçmemesi önerilmektedir (Canto-Perello & Curiel-Esparza, 2001).

Bir işçinin ergonomik olarak eğilmesini gerektirmeyecek şekilde onarım yapmasının sağlanması önemlidir. Raflar göbek hizasının altına düşürülmemelidir. Böylece işçinin yatay olarak kapladığı alan fazla olmayacak ve dar alanda rahatlıkla çalışabilecektir.

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) kaldırma denklemi (Bkz. Denklem 1) kullanarak rafların dikey konumuna göre farklı raf genişlikleri için önerilen ağırlık limitleri (Waters vd., 2007), Şekil 8'de görülmektedir.

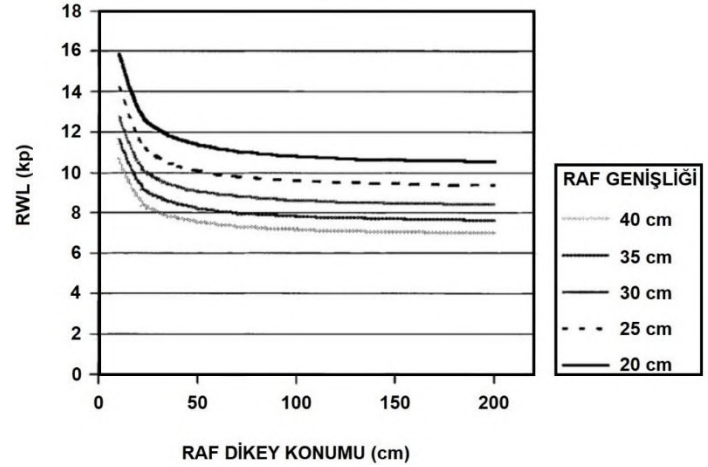
$$RWL = \frac{500}{20+S} \cdot \left(0.82 + \frac{4.5}{V}\right) \quad (1)$$

Denklem 1'de:

RWL; önerilen ağırlık limitleri (kp cinsinden (~100 kg/m<sup>2</sup>),

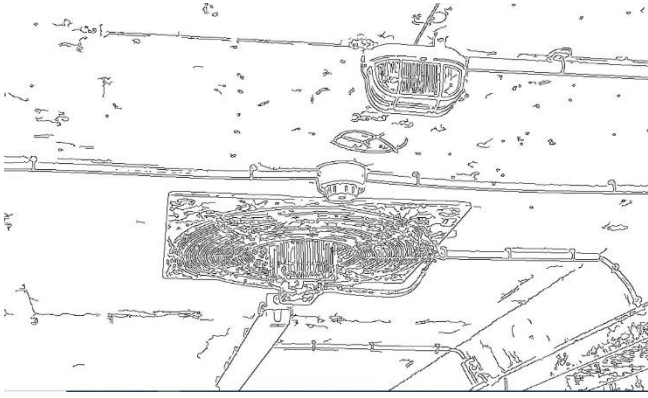
S; rafların genişliğini,

V; raf dikey konumunu belirtmektedir.

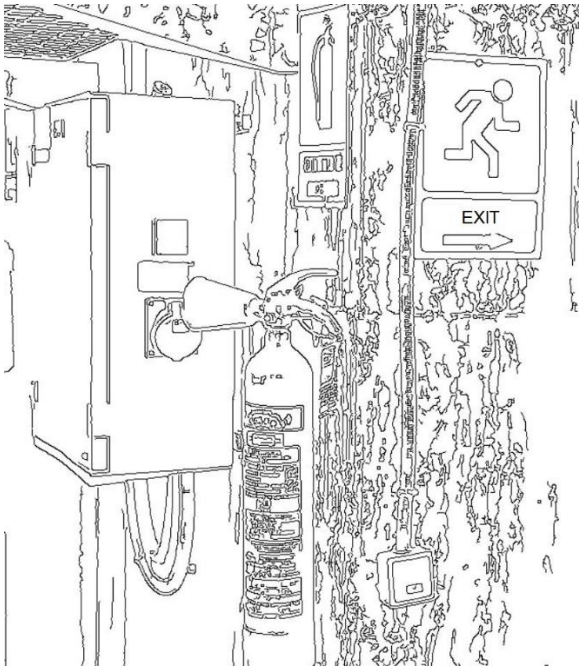


Şekil 8. Rafların dikey konumuna göre farklı raf genişlikleri için önerilen ağırlık limitleri.

Her şeyden önce işçi ve teknik personelin sağlığı gelmektedir. Bu anlamda tünellerin içi aydınlatılmalı, havalandırılmalı ve tehlike anında kaçıışı kolaylaştıracak, karanlıkta dahi görülebilen işaretlerin, telefon, yangın, acil müdahale ekipmanlarının standart olarak belli aralıklarla tünellere yerleştirilmesi gerekmektedir (Curiel-Esparza & Canto-Perello, 2005) (Bkz. Şekil 9 ve 10).



Şekil 9. Temsili yangın dedektörü, havalandırma sistemi ve aydınlatma lambası.



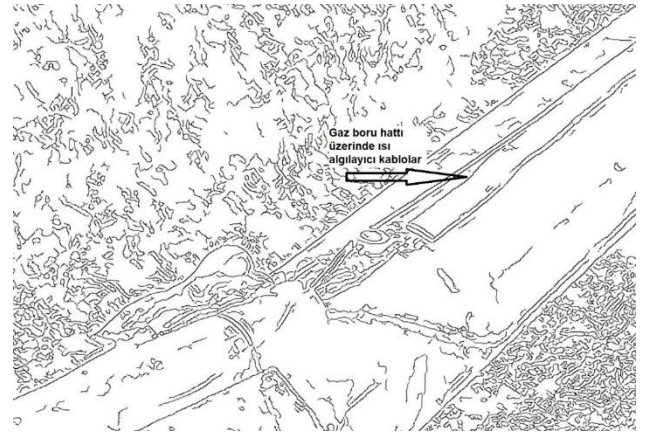
Şekil 10. Temsili acil durum telefon ve ekipmanları.

Bir diğer önemli konu da güvenlidir. Bu tip altyapı tünelleri açılabilir betonarme kapaklı sistemler olup, kötü niyetli kişilerin tehlikesi altındadır (Canto-Perello & Curiel-Esparza, 2006). Herhangi bir sabotaj durumunda üst kapağı tahrip edilmiş ve içi su dolmuş olabilir, kanal boyunca çalışan işçilerin bulunması durumunda sonuçlar çok vahim olabilir. Bu nedenle bu kanalların güvenliği ciddi anlamda tesis edilmelidir. Düzenli olarak kanallar kontrol edilmeli, güvenlik durumunu belirten raporlar düzenli olarak hazırlanmalıdır. Gaz ve duman dedektörleri, kapak açılması durumunda devreye giren ve kontrol merkezini ve en yakın müdahale ekibini uyuracak alarm sistemi, güvenliği tesis etme anlamında standart uygulamalar olmalıdır (Canto-Perello vd., 2013). Ayrıca, betonarme tünelin statığı deprem dahil doğal afetlere karşı test edilmelidir (Chen vd., 2010; Yang & Wang, 2013).

Bu amaçla dünyada uzun süredir sıkça uygulanan ısıya duyarlı fiber optik kabloların kullanılması önerilmektedir. 1997 yılında Ishii vd. (1997) yaptıkları çalışmada bu sistemi test etmiş ve 2 km uzunluğundaki tünelde 5 metre ve 5 santigrad derece ısı hassasiyeti ile başarılı sonuçlar almışlardır. Günümüz teknolojisinde geliştirilmiş benzer sistemlerde daha kesin sonuçlar alınması beklenmektedir.

Fiber optik sıcaklık algılama ve izleme teknikleri inşaat mühendisliği, petrol ve gaz, enerji santralleri, yangın algılama gibi çeşitli alanlarındaki uygulamalar ile yeni olanaklar sağlamıştır (Bartholmai vd., 2013; Rajeev vd., 2013). Mevcut altyapı için uygulamada zorluklar olabileceği düşünülmekle beraber, oluşturulacak alternatif altyapı sisteminin yenilenmesi ve onarım maliyetlerinin ve kazının minimuma indirilmesi için fiber optik teknolojiden faydalanılmaktadır.

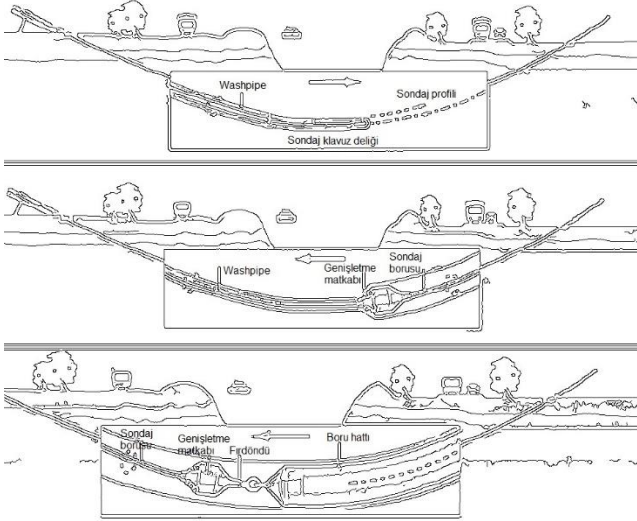
Boru hattı kanala yerleştirilmeden önce bu kabloların döşenmesi gerekmektedir, fiber optik kablolar boru hattının 10 cm altına döşenmelidir (Inaudi & Glisic, 2008). Bazı sistemlerde ise fiber optik kablolar borunun üzerine bağlanmaktadır (Glisic & Inaudi, 2007; Nikles vd., 2007) (Bkz. Şekil 11). Herhangi bir sızıntı ve ısı değişimi gibi durumlarda, arızanın yeri sistem tarafından otomatik olarak belirlenmektedir (Inaudi & Glisic, 2005; Li vd., 2004). Boru altına ve üstüne döşenen kablolarla sızıntı olduktan sonra sistem arızayı ve yerini bilgisayar teknolojisi aracılığı ile belirlemektedir (Inaudi vd., 2007; Inaudi & Glisic, 2006). Yatay Yönlü Sondaj sırasında fiber optik sensörler altyapıya entegre edilmelidir.



Şekil 11. Temsili gaz boru hattı üzerinde ısı algılayıcı kablolar.

Yolun her iki tarafında yerleştirilmesi düşünülen altyapı sisteminin belli noktalarda birleştirilmesi ve tek hat üzerinde devam etmesi durumunda ayrıca yan bağlantılarda kazı yapmak durumunda kalılabilmektedir. Kazı yapılmaması için (Horizontal Directional Drilling - HDD) Yatay Yönlü Sondaj (YYS) Sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemde açık kazı yapmadan boru ve kablolar toprak altına döşenebilmektedir (Allouche vd., 2000; Tighe vd., 2002). Her aşamada üstten takip edilebilme özelliği sayesinde yeraltında bulunan mevcut yapılara ve şebekelere zarar verilmez ve istenilen noktadan girip yine istenilen noktadan çıkılabilmektedir (Willoughby, 2005) (Bkz. Şekil 12).





Şekil 12. Temsili yönlendirilebilir Yatay Sondaj aşamaları (Klavuz deliğinin açılması, açılan deliğin genişletilmesi ve Borunun çekilmesi).

Sürdürülebilir kentsel gelişmenin sağlanabilmesi amacı ile kent formu ile altyapı maliyeti ilişkisi ele alınmalıdır. Yerleşim yerlerinin kentleşme noktasında geleceğine dair geliştirilen alternatif senaryolar kentsel teknik altyapı maliyetleri açısından CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) teknolojileri kullanımı ile oluşturulabilir. Minimum maliyetli altyapı haritası CBS yardımı ile oluşturulurken, şehirleşmenin yeni başladığı bölgeler için bu çalışmalar emsal teşkil edebilir. Bununla birlikte şehirleşmenin henüz başlamadığı yerler için imara açılma aşamasında öngörülen altyapı şehir planı ile uyumlu ve maliyeti minimuma indirecek, şehir planlarında sıklıkla kullanılan ızgara desen ile altıgen desen gibi geometrik formlardan faydalanılmalıdır (Gökçen, 2006).

Önerilen kazısız altyapı ve Yatay Yönlü Sondaj (YYs) sistemlerinin ayrıntılı bir tasarımı geliştirilmeden önce, gerçek bir projeye dayalı olarak sistemin işlevselliğini test etmek için pilot araştırma yapılmalıdır. Çünkü yerel politika ve kültür, çeşitli bölgelerde sistem uygulamasını etkileyebilir. Bu noktada CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) teknolojisi, altyapı tünellerinin konumu ve çevre ortamı hakkında bilgi elde etmek için potansiyel olarak sisteme entegre edilebilir. CBS entegrasyonu, yeni altyapı sistemleri hakkında yeterli uygulama pratiğine sahip olmayan saha çalışanlarına uygulamayı daha iyi anlamaları için yardımcı olacak üç boyutlu (3B) bir görünüm sağlayabilmektedir (Lee vd., 2018). Tüm yeraltı boru hatlarının derinlik, konum, boyut ve hatta boruların malzemeleri dâhil olmak üzere bir 3B görselleştirme ile gösterilebileceği açıktır. Ayrıca, eksiksiz 3B görselleştirme veri tabanı ile mühendisler, boru hattı güzergâhlarını ve kazı faaliyetlerini optimize edebilmektedirler.

Simülasyon karar vermek için güçlü bir araçtır. Yapılması öngörülen bir çalışmanın uygulanabilirliğini test etme olanağı sağlamaktadır. Karar sürecinde modeli geliştiren akademik ve uygulama noktasındaki profesyonel mühendis ekibi tarafından, tasarım aşaması esnasında önerilen uygulamanın yapım, maliyet ve uygulama aşamaları simülasyon ile görülür ve uygulamada optimum kalite yakalanır. Akademik çerçevede tasarlanan yenilikçi altyapı sistemi çalışması proje ekibi ve belediye arasındaki etkileşimli ortak araştırma ve uygulama çalışmaları ile başarıya ulaşabilir (Keirstead & Shah, 2013; Rehan vd., 2013).

Önerilen altyapı sistemlerinin uygulanabilirliğini test etme olanağı sağlayacak ve karar vermede yardımcı olacak olan bir simülasyon çalışmasında işletme ve bakım konularına ek olarak, hidrolojik, toprak malzemeleri ve yataklama koşulları gibi diğer kritik konuların da dikkate alınması gerekmektedir.

Önerilen altyapı sistemlerinin koordinasyonunu sağlayacak olan bir merkezde CBS ile simülasyon çalışmalarını destekleyecek veritabanı, altyapı tünelinin kendisi, ekipman ve boru hatlarına ilişkin bilgiler de dahil olmak üzere önemli miktarda bilginin depolanmasını gerektirecektir. Veritabanı ile amaçlanan hedefler; gerçek zamanlı bilgi toplama, etkili bilgi entegrasyonu ve dağıtımı, görselleştirilmiş bilgi yönetimi ve otomatik güvenlik izleme ve alarm olarak sıralanabilmektedir. Oluşturulacak veritabanı, güvenlik bilgisi, ekipman bilgisi, bakım bilgisi, sözleşme bilgisi, maliyet bilgisi ve yönetim bilgisi gibi fonksiyonel modüller de içermelidir.

Önerilen çalışma, İstanbul altyapı sistemindeki karışıklığın önüne geçmek maksadı ile tüm altyapının bir araya toplandığı bir betonarme yapının tasarımı olmasının yanı sıra, başta yeni yerleşim birimleri olmak üzere tüm şehir için su getirme ve kanalizasyonda yenilikçi bir yönetim sisteminin oluşturulmasını da içermektedir. Benzer bir çalışma Mendoza-Espinosa vd.'nin (2006) araştırmalarında gri su için yapılmıştır ve planlama ekibi bir sistem modeli geliştirmiştir, gri su ve geri dönüşümlü su uygulamaları farklı senaryolar ile simüle edilmiştir. Simülatör olarak ISEE Systems tarafından geliştirilen STELLA seçilmiştir. Bu çalışma bizlere gri suyun değerlendirilerek su kaynaklarının tasarruflu kullanılması konusunda ilham verebilir. Karahan (2009) gri suyun artırılarak bahçe sulama, tuvalet rezervuarları, temizlik gibi kısımlarda kullanılması durumunda, tüketilen suyun yaklaşık %50'sinin gri su sisteminden sağlanabileceğini ortaya koymuştur.

Bu durumda tasarlanacak olan altyapı sisteminde ileri ya da yakın vadede uygulamaya geçilmesi durumunda geri dönüşüm suyunun taşınmasında kullanılacak borular için gerekli hacim de düşünülmelidir. Kesitin ileride genişleme gereksiminin ortaya çıkması olasılığı hesaba katılarak yeterli alan tasarlanmalıdır. Projenin gerçekleşmesi durumunda temel maliyetler, operasyonel maliyetler, verimlilik, inşaat süresi, destek ve kaynakların kullanımı, yenilikçi altyapı sistemi projesi için öncelikli olarak belirlenmesi gereken konulardır.

#### 4. Sonuç

Araştırma kapsamında önerilen altyapı sistemi, şehir planı dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Çok sayıda coğrafi veya arazi kullanım değişikliği varsa, pratik çözümler üretmek kolay değildir. Altyapı sistemi, bu topografik değişikliklerle ilgili sorunlara cevap verebilecek nitelikte farklı sistemlerin bir arada kullanılabilmesi nitelikte olmalıdır. Bu çalışma kapsamında İstanbul için Yatay Yönlü Sondaj (YYs) sistemi önerilmiştir. Bu sistemde borular ve kablolar açık kazı yapılmadan yer altına döşenebilmektedir ve bu durum geleneksel sistemlere kıyasla işletme maliyetini düşürmektedir. Altyapı güvenliği için entegre bir fiber optik sensörün kullanılması bir diğer öneridir. Boru hattı izleme için Yatay Yönlü Sondaj sırasında fiber optik sensörler altyapıya entegre edilmelidir.

Kent planlama ile altyapı maliyetleri arasında güçlü bir ilişki vardır. CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) kullanımı ile geleceğe yönelik alternatif senaryolar geliştirilebilir. CBS yardımıyla minimum maliyetli altyapı haritaları oluşturulabilir.

Bu teknolojinin, İstanbul'da kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerde sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için güçlü bir araç olabileceği düşünülmektedir.

Simülasyon, planlanmış bir çalışmanın fizibilitesinin test edilmesini sağlar. Karar vermek için güçlü bir araçtır. Akademik ve profesyonel mühendisler tarafından önerilen bir uygulamanın yapım, maliyet ve uygulama aşamaları karar verme sürecinde simülasyon yoluyla görselleştirilir. Önerilen sistemlerin uygulanmasından önce, coğrafya ve arazi kullanımı dahil olmak üzere birçok faktör göz önünde bulundurularak hepsinin simüle edilmesi gerekmektedir. Önerilen tekniğin uygulanması durumunda, İstanbul'un dar ve dik yokuşlu sokaklarının altyapı sorunları önemli ölçüde çözülecektir. Bu doğrultuda ilgili meslek gruplarının Lisans ve Yüksek Lisans eğitim programlarında yenilikçi altyapı tünellerinin tasarım ve uygulanmasına yönelik teknik standardizasyon ve güncelleştirmelerin müfredata dahil edilmesi önerilmektedir.

Gelecekteki araştırma çabaları, önerilen sistemi pratik bir vaka örneğine uygulayarak ve pratik alandan kapsamlı sonuçlar toplayarak önerilen sistemin doğrulanması ve onaylanmasına yönelik olabilir. Önerilen çerçeve, gelecekteki araştırmalara daha ayrıntılı ve kapsamlı bilgiler entegre edilerek geliştirilebilir. Ayrıca, bakım stratejilerinin bilimsel ve verimli bir şekilde geliştirilmesine yardımcı olmak için bu altyapı sistemine dair yeterli veri toplandıktan sonra veri madenciliği gibi diğer teknolojiler uygulanabilir.

## Kaynakça

AbouRizk, S. M., Ruwanpura, J. Y., Er, K. C., & Fernando, I. (1999). Special purpose simulation template for utility tunnel construction. In *Simulation Conference Proceedings, 1999 Winter (Vol. 2, pp. 948-955)*. IEEE.

Allouche, E. N., Ariaratnam, S. T., & Lueke, J. S. (2000). Horizontal directional drilling: profile of an emerging industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(1), 68-76.

Ariaratnam, S. T., Chan, W., & Choi, D. (2006). Utilization of trenchless construction methods in mainland China to sustain urban infrastructure. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 11(3), 134-141.

Ariaratnam, S. T., Lueke, J. S., & Allouche, E. N. (1999). Utilization of trenchless construction methods by Canadian municipalities. *Journal of construction engineering and management*, 125(2), 76-86.

Bartholmai, M., Neumann, P. P., & Lazik, D. (2013). Multifunctional Sensor for Monitoring of CO2 Underground Storage by Comprehensive and Spatially Resolved Measuring of Gas Concentrations, Temperature and Structural Changes. *Energy Procedia*, 37, 4033-4040.

Bennett, D. (2005). *The Art of Precast Concrete: Colour, Texture, Expression*. Berlin, Boston: Birkhäuser. Publishers for Architecture, Basel, Switzerland.

Brundtland, G. H. (1987). Our common future—Call for action. *Environmental Conservation*, 14(4), 291-294.

Canto-Perello, J., & Curiel-Esparza, J. (2001). Human factors engineering in utility tunnel design. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 16(3), 211-215.

Canto-Perello, J., & Curiel-Esparza, J. (2006). An analysis of utility tunnel viability in urban areas. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 23(1), 11-19.

Canto-Perello, J., Curiel-Esparza, J., & Calvo, V. (2009). Analysing utility tunnels and highway networks coordination dilemma. *Tunnelling and Underground space technology*, 24(2), 185-189.

Canto-Perello, J., Curiel-Esparza, J., & Calvo, V. (2013). Criticality and threat analysis on utility tunnels for planning security policies of utilities in urban underground space. *Expert Systems with Applications*, 40(11), 4707-4714.

Capitol Visitor Center Project Office, Architect of the Capitol (2005). *United States Capitol Visitor Center Weekly Construction Summary*. October 17, 2005. 18 Aralık 2021 tarihinde <https://web.archive.org/web/20100107044815/http://www.aoc.gov/cvc/weekly/2005/loader.cfm?csModule=security/getfile&pageid=12912> adresinden erişildi.

Chen, J., Shi, X., & Li, J. (2010). Shaking table test of utility tunnel under non-uniform earthquake wave excitation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(11), 1400-1416.

Curiel-Esparza, J., & Canto-Perello, J. (2005). Indoor atmosphere hazard identification in person entry urban utility tunnels. *Tunnelling and underground space technology*, 20(5), 426-434.

Gagnon, M., Gaudreault, V., & Overton, D. (2008). Age of public infrastructure: A provincial perspective. Ottawa: Statistics Canada.

Glisic, B., & Inaudi D. (2007). *Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring*. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-06142-8.

Gökçen, T. (2006). "Influence of urban geometry on public investment cost of urban technical infrastructure: a case study of sewer system in Aydın, Turkey". İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Doktora Tezi.

Hall, P., & Pfeiffer, U. (2013). *Urban future 21: a global agenda for twenty-first century cities*. Routledge.

Hunt, D. V. L., Nash, D., & Rogers, C. D. F. (2014). Sustainable utility placement via multi-utility tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 39, 15-26.

Inaudi, D., & Glisic B. (2008) "Overview of fibre optic sensing to structural health monitoring applications." 4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering. LNEC, Lisbon, 2008 May 12-15.

Inaudi, D., & Glisic, B. (2005). "Field Applications of Fiber Optic Strain and Temperature Monitoring Systems". *Opto-electronic Sensor-based Monitoring in Geo-engineering*, Nanjing, P.R.China, November 23-24.

Inaudi, D., & Glisic, B. (2006). Reliability and field testing of distributed strain and temperature sensors. In *Smart Structures and Materials 2006: Smart Sensor Monitoring Systems and Applications (Vol. 6167, p. 61671D)*. International Society for Optics and Photonics. SPIE Smart Structures and Materials Conference in San Diego. 2006 February 27- March 2, 2006.

Inaudi, D., Glisic, B., Figini, A., & Walder, R. (2007) "Pipeline Leakage Detection and Localization Using Distributed Fiber Optic Sensing". Rio Pipeline Conference & Exposition.

Ishii, H., Kawamura, K., Ono, T., Megumi, H., & Kikkawa, A. (1997). A fire detection system using optical fibres for utility tunnels. *Fire safety journal*, 29(2-3), 87-98.

Karahan, A. (2009). Gri Suyun Değerlendirilmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi. TMMOB Makina Mühendisleri Odası.



- Keirstead, J., & Shah, N. (2013). The Changing Role of Optimization in Urban Planning. In *Optimization, Simulation, and Control* (pp. 175-193). Springer New York.
- Lee, P. C., Wang, Y., Lo, T. P., & Long, D. (2018). An integrated system framework of building information modelling and geographical information system for utility tunnel maintenance management. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 79, 263-273.
- Li, H. N., Li, D. S., & Song, G. B. (2004). Recent applications of fiber optic sensors to health monitoring in civil engineering. *Engineering structures*, 26(11), 1647-1657.
- Li, P., Huang, P., Liu, Z., Du, B., & Li, M. (2019). Experimental study on vented explosion overpressure of methane/air mixtures in manhole. *Journal of hazardous materials*, 374, 349-355.
- Ma, B., & Najafi, M. (2008). Development and applications of trenchless technology in China. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23(4), 476-480.
- Mendoza-Espinosa, L. G., Figueroa-Nolasco, M. O., & Lopez-Calva, E. (2006). Systems modeling for the planning of greywater management in new housing developments in the city of Ensenada, Baja California, Mexico. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2006(6), 6053-6066.
- Nikles, M., Vogel, B., Fabien, B., Grosswig, S., Sauser, F., Luebbecke, S., Bals, A., Pfeiffer, T. (2004). "Leakage detection using fiber optics distributed temperature monitoring". *Smart Structures and Materials 2004: Smart Sensor Technology and Measurement Systems*. Edited by Udd, Eric; Inaudi, Daniele. *Proceedings of the SPIE*, Volume 5384, pp. 18-25.
- Parriaux, A., Blunier, P., Maire, P., & Tacher, L. (2007, September). The DEEP CITY project: a global concept for a sustainable urban underground management. In 11th ACUUS International Conference, *Underground Space: Expanding the Frontiers* (No. CONF, pp. 255-260).
- Rajeev, P., Kodikara, J., Chiu, W. K., & Kuen, T. (2013). Distributed Optical Fibre Sensors and Their Applications in Pipeline Monitoring. *Key Engineering Materials*, 558, 424-434.
- Rehan, R., Knight, M. A., Unger, A. J. A., & Haas, C. T. (2013). Financially sustainable management strategies for urban wastewater collection infrastructure—Development of a system dynamics model. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 39, 1-14.
- Riera, P., & Pasqual, J. (1992). The importance of urban underground land value in project evaluation: a case study of Barcelona's utility tunnel. *Tunnelling and underground space technology*, 7(3), 243-250.
- Rivard Concrete. (2014). 18 Aralık 2021 tarihinde <https://rivardconcrete.com> adresinden erişildi.
- Rogers, C. D. F., & Hunt, D. V. L. (2006, May). Sustainable utility infrastructure via multi-utility tunnels. In *Proceedings of the Canadian Society of Civil Engineering 2006 conference, Towards a sustainable future*, Calgary.
- Ruiz, F. P. (2009). A precast concrete utility tunnel was the solution for one of the world's largest drug manufacturers. *Precast Utility Tunnel: Eli Lilly and Co. Project*. National Precast Concrete Association Indianapolis, IN 46290. 18 Aralık 2021 <https://precast.org/2009/07/precast-utility-tunnel-eli-lilly-and-co-project/?fs=utility%20tunnel> adresinden erişildi.
- Shahrour, I., Bian, H., Xie, X., & Zhang, Z. (2020). Use of smart technology to improve management of utility tunnels. *Applied Sciences*, 10(2), 711.
- Sterling, R. L. (2007). Urban underground space use planning: a growing dilemma. *Urban Planning International*, 6(004).
- Tighe, S., Knight, M., Papoutsis, D., Rodriguez, V., & Walker, C. (2002). User cost savings in eliminating pavement excavations through employing trenchless technologies. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 29(5), 751-761.
- University of Washington – Engineering Services (2017). *Civil Facilities Services Design Guide Utility Tunnels and Trenches*. 18 Aralık 2021 tarihinde <https://facilities.uw.edu/files/media/fsdg-02-u-utility-tunnels-trenches.pdf> adresinden erişildi.
- Wang, X., Tan, Y., Zhang, T., Zhang, J., & Yu, K. (2020). Diffusion process simulation and ventilation strategy for small-hole natural gas leakage in utility tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 97, 103276.
- Waters, T. R., Lu, M. L., & Occhipinti, E. (2007). New procedure for assessing sequential manual lifting jobs using the revised NIOSH lifting equation. *Ergonomics*, 50(11), 1761-1770.
- Willoughby, D. (2005). *Horizontal directional drilling: utility and pipeline applications*. McGraw-Hill Education.
- Wu, J., Bai, Y., Fang, W., Zhou, R., Reniers, G., & Khakzad, N. (2021). An Integrated Quantitative Risk Assessment Method for Urban Underground Utility Tunnels. *Reliability Engineering & System Safety*, 107792.
- Yang, J., & Wang, H. (2013). Seismic response analysis of shallow utility tunnel in liquefiable soils. In *ICPTT 2012: Better Pipeline Infrastructure for a Better Life* (pp. 1606-1618).
- Yin, X., Liu, H., Chen, Y., Wang, Y., & Al-Hussein, M. (2020). A BIM-based framework for operation and maintenance of utility tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 97, 103252.
- Zaneldin, E. K. (2007). Trenchless construction: an emerging technology in United Arab Emirates. *Tunnelling and underground space technology*, 22(1), 96-105.
- Zhou, K., Li, F., Cai, H., Jing, Y., Zhuang, J., Li, M., & Xing, Z. (2021). Estimation of the Natural Gas Leakage Source with Different Monitoring Sensor Networks in an Underground Utility Tunnel: from the perspectives of energy security. *Energy and Buildings*, 111645.



# Derin Öğrenme ile Yüz Tanıma ve Duygu Analizi

Yaşar Safalı<sup>1\*</sup>, Erdinç Avaroğlu<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9717-9892), [yasarsafali.01@gmail.com](mailto:yasarsafali.01@gmail.com)

<sup>2</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1976-2526), [eavaroğlu@mersin.edu.tr](mailto:eavaroğlu@mersin.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 15 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 10 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010450)

**ATIF/REFERENCE:** Safalı, Y. & Avaroğlu, E. (2021). Derin Öğrenme ile Yüz Tanıma ve Duygu Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 764-770.

## Öz

Kişilerin davranışlarına, fiziksel özelliklerine bağlı olarak geliştirilen biyometrik sistemler son yıllarda aktif olarak kullanılmaktadır. Kişinin benzersiz özelliklerine dayanan biyometrik sistemler içerisinde yüz tanıma fiziksel temasa gerek duymaması sebebi ile önemli bir yer kaplamaktadır. Bu çalışmada derin öğrenme tabanlı yüz tanıma ve yüz ifadesi tanıma uygulaması gerçekleştirilmiştir. VGG-16, AlexNet ve ZF Net mimarileri ile geliştirilen modeller eğitilerek başarı oranları karşılaştırılmıştır. En başarılı model %92,03 başarı oranı ile VGG-16 mimarisi referans alınarak geliştirilen model olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Yüz tanıma, Yüz ifadesi tanıma, derin öğrenme, Biyometrik sistemler.

## Face Recognition and Emotion Analysis with Deep Learning

### Abstract

Biometric systems developed depending on the behavior and physical characteristics of individuals have been actively used in recent years. Facial recognition occupies an important place among biometric systems based on the unique characteristics of the person, as it does not require physical contact. In this study, facial recognition and facial expression recognition based on deep learning were implemented. Models developed with VGG-16, AlexNet and ZF Net architectures were trained and their success rates were compared. The most successful model was the model developed based on VGG-16 architecture with a success rate of 92.03%.

**Keywords:** Face recognition, facial expression recognition, deep learning, Biometric systems.

\* Sorumlu Yazar: [yasarsafali.01@gmail.com](mailto:yasarsafali.01@gmail.com)

## 1. Giriş

İnsan nüfusunun artması ile birlikte kullanılan mobil cihazların sayısında artış görülmektedir. Mobil cihazlara ek olarak dünya genelinde üretilen kamera sayısı da her geçen gün artmaktadır. Kamera ve mobil cihaz sayısının artmasına paralel olarak insanların kameralara verdiği görüntü sayısı artmaktadır. Büyük miktarda oluşan bu görüntüler araştırmacılara bilgisayarlı görü alanında çalışma yapabilecekleri veri tabanları oluşturmuştur.

İnsanların sürekli birbiri ile etkileşim içerisinde olması, birçok sektörün dijital ortamda aktif olarak faaliyet göstermesi, bazı kamu ve özel kurumlara yetkisiz girişlerin engellenmesi istenmesi ortaya güvenlik sorununu çıkarmıştır. Özellikle mobil cihazlarda insanların kişisel verilerinin yer alması, klasik güvenlik önlemlerine ek yeni kimlik doğrulama yöntemlerinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Parola, PIN (personal identification number) gibi daha önceden kullanılan klasik güvenlik önlemlerinin çalınabilme, hatırlanamama gibi dezavantajları vardır. Bu dezavantajlar, kişiye özel kimlik doğrulama yöntemleri olan biyometrik sistemlerin gelişmesine katkı sağlamıştır.

Teknolojinin gelişimine bağlı olarak hızla gelişen biyometrik sistemler, kişilerin fiziksel, kimyasal ve davranışsal özelliklerine dayalı bir tanımlama bilimidir (Vatsa, Singh, and Majumdar 2018). Biyometrik sistemlerin ortak özelliği kişinin benzersiz özellikleri üzerine inşa edilmesidir. Bu benzersiz özellikler sayesinde kişinin kimlik doğrulaması yapılmaktadır. Kimlik doğrulama işlemi yapılırken kişiye ait parmak izi, yüz tanıma, el yazısı, kişinin imzası, yürüyüş, iris vb.. özelliklerinden yararlanan biyometrik sistemler mevcuttur.

Yüz tanıma, dijital görüntüler üzerinde yer alan nesnelerin arasından insan yüzünün konumunu ve boyutunu belirleyen bir bilgisayar teknolojisi. Bilgisayarlı görü alanında ortaya çıkan yüz tanıma, insanların büyük miktardaki verilerde bilgisayarlar kadar hızlı çalışmama problemlerine çözüm aramaktadır. Bilgisayarlar yüksek hızda, yüksek bellek kullanarak insanlardan daha hızlı hesaplama yapabilmektedir.

Yüz tanıma uygulamaları, kendisine giriş olarak verilen görüntülerde ilk olarak yüzü tespit etmeye çalışır. Giriş verisi olarak verilen görüntüde yüz olup olmadığı doğru bir şekilde tespit edilebilirse ilk aşama başarılı olarak tamamlanmıştır. Eğer görüntüde yüz tespit edilirse daha sonra özellik çıkarımı yapılarak yüzün kime ait olduğu tespit edilir.

Yüz tanıma sistemleri, güvenlik amacı ile kamu kurumlarında kullanılmaktadır. Yüksek güvenlik gerektiren kamu kurumlarına yetkisiz girişlerini engellemek için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra özel sektör ve kamu kuruluşlarında personel takibi için kullanılmaktadır. Yüz tanıma sistemleri elektronik bankacılık, mobil cihazların aktivasyonu gibi dijital ortamlarda da aktif olarak kullanılmaktadır.

Duygu analizi, duyguların tanınması bilgisayar biliminde popüler olarak çalışma yapılan bir alandır. İnsan ve bilgisayar arasındaki etkileşimin daha doğal olması için bilgisayarların insan duygularını tanıması amaçlanmıştır. Duygu analizi çoğunlukla metin madenciliği alanında kullanılsa da son zamanlarda bilgisayarlı görü alanında da çalışmalara konu olmuştur. Metin madenciliği alanında yapılan çalışmalarda genel olarak kişinin bir konu hakkındaki olumlu, olumsuz ve nötr olmak üzere üç duygusu referans alınır. Metin madenciliği alanında yapılan

duygu analizleri reklam, ürün pazarlama, güncel olaylar vb. alanlarda kısa ve anlamlı bilgiler çıkarmak için yapılmaktadır. Bilgisayarlı görü alanında yapılan duygu analizi çalışmaları Otomatik Yüz İfade Tanıma kısaca FER (Face Expression Recognition) olarak adlandırılırlar.

Yüz ifadesi tanıması, yüzdeki belirgin özelliklerden yararlanır. Bu özellikler kaşların yer aldığı bölge, ağız ve dudak bölgesi, göz ve göz kapaklarıdır. İnsanların temel olarak ifade ettiği 6 duygu mevcuttur. Bunlar mutluluk, üzüntü, şaşırma, korku, kızgınlık ve iğrenmedir (Salunke and Patil 2018). Yüz ifadesi tanıma uygulamaları son zamanlarda güvenlik güçleri tarafından sürveyans ve davranış analizi alanında kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca dijital kameralarda gülümseme algılamasında otomatik olarak fotoğraf çekmek için bu tür teknikler kullanılmaktadır (Salunke and Patil 2018).

Literatürde yüz tanıma sistemleri geliştirilirken kullanılan birçok teknik mevcuttur. Bu tekniklerden bir kısmı kendisine verilen görüntüde insan yüzüne ait kaş, göz, burun, ağız gibi özellikler aramaktadır. Bir kısmı ise kendisine verilen görüntüde yüzün özelliklerini aramaktansa görüntünün tamamı üzerinde işlem yapmaktadır. Bu teknikler genel olarak özellik tabanlı ve bütüncül yaklaşımlar olarak gruplandırılmıştır (Kumar, Kaur, and Kumar 2019).

Özellik tabanlı yaklaşımlar insan yüzünde yer alan burun, göz, kulak gibi yüz özelliklerini referans olarak çalışmaktadırlar. Genel olarak Aktif şekil modeli, düşük seviye analiz, özellik analizi başlıklarında yapılan çalışmalardır.

Wiskott ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada (Wiskott et al. 1997) giriş yüzü grafiği olarak ifade edilen prob setini, model yüzü grafiği olarak temsil edilen galeri setiyle eşleştirerek yüzleri tanyan Elastik Demet Grafiği Eşleştirme algoritmasını geliştirmişlerdir. Temel olarak giriş yüzü grafiğinin her düğümü yüzün belirli bir özellik noktasıyla temsil edilir. Örneğin, bir düğüm bir gözü temsil eder ve diğer bir düğüm burnu temsil eder. Bu mantıkla düğümler diğer yüz özelliklerini temsil etmeye devam eder. Düğümler yüzün şekline göre getirilmiş bir graph yapısı oluşturularak birbirine bağlanır (Wiskott et al. 1997).

Anila ve Devarajan 2010 yılında yaptıkları çalışmada (Satish et al. 2010) üç adımdan oluşan bir yüz tanıma yaklaşımı önermişlerdir. İlk adımda görüntülerde yer alan görüntüleri gidermek için medyan filtre uygulanmaktadır. Daha sonra görüntü üzerinde kontrast ayarı yapmak için histogram dengeleme uygulanmıştır. İkinci adımda kenar görüntüleri için Sobel kenar çıkarımı algoritmasını görüntüye uygulamışlardır. Son adımda ise görüntü üzerinde yer alan yüz bölgesini ve diğer arka planları çıkarmak için Geri Yayılım sınır ağı algoritmasını kullanmışlardır.

Viola ve Jones, hesaplama süresini aza indiren, yüksek algılama doğruluğu elde eden bir yaklaşım sundular (Zhang et al. n.d.). Haar benzeri özelliklerin kullanılmasına dayanan bu yaklaşım hızlı sonuç vermektedir. Bu yaklaşım integral görüntü kavramına dayanarak geniş bir dizi özellik üretir ve aşırı kümelenmeyi azaltmak için artırma algoritması AdaBoost'u kullanır. Gri tonlamalı görüntülerde uygulanan AdaBoost dedektör tarama biçiminde çerçevelerle uygulanır.

Kalocsai ve arkadaşları araştırmalarında (Kalocsai et al. n.d.) yüz tanıma özelliğini iyileştirmek için yüzlerin 48 özellik noktasından 40 Gabor çekirdeğinin üretildiği Gabor çekirdeklerinin ağırlıklandırılmasının etkisini araştırdılar. Kafkas yüzleri veri setini kullanarak en ayırt edici yüz özelliklerinin alın

ve gözlerin etrafına yerleştirildiğini buldular. Buna karşılık, en az ayırt edici yüz özellikleri ağız, burun, yanaklar ve yüzün alt ana hattı olduğunu tespit ettiler. En yüksek ağırlıklı çekirdeklerin, yüzlerin daha kompakt bir gösterimini sağlayacağı ve en düşük ağırlıklı çekirdeklere kıyasla en yüksek ağırlıklı çekirdekleri kullanarak daha yüksek tanıma oranları sağlayacağı sonucuna vardılar.

Hjelmas, güçlü yüz tanıma özelliği için geliştirdiği Gabor özelliklerini tanıttı.(Hjelmås n.d.) Hjelmås'a göre, yüz görüntüsünün işlenmesi için (eğitim veya test için), görüntü bir dizi Gabor filtresi ile filtrelenmiştir. Görüntüyü yüzün ortasına odaklamak için 2D Gaussian uygulamıştır. Gabor Filtreli ve Gauss ağırlıklı görüntüde daha sonra yüz tanıma için ilginç özellik noktaları olarak nitelendirilen zirveler aranır. Her zirvede, Habor katsayılarından oluşan bir özellik vektörü çıkarılarak konum ve sınıf etiketi saklanır.

Bütüncül yaklaşımlar görüntü üzerinde insan yüzünün özellikleri aramaktansa görüntünün tamamına dayalı analiz yaparlar. Bütüncül yaklaşımlar, tüm yüz bölgesini bir tanıma sisteminde ham girdi olarak kullanır. Yüz görüntülerinin piksel yoğunluğu değişimlerini istatistiksel olarak hesaplar ve veri tabanındaki resimlerin yoğunluk değerleri ile karşılaştırır. Genel olarak bütüncül yaklaşımlar istatistiksel modelleri ve yapay sinir ağlarını kullanırlar.

Dürr ve arkadaşları Raspberry Pi kullanarak elde ettikleri gerçek zamanlı görüntülerde yüz tanıma gerçekleştirmişlerdir (Dürr et al. 2015). CNN kullanarak inşa ettikleri model ile OpenCV yaklaşımlarını karşılaştırmışlardır. Raspberry Pi kullanarak elde ettikleri yüksek çözünürlüklü görüntüleri 8 bit gri ölçeğe dönüştürmüşlerdir. Daha sonra gri görüntülerin tamamını 640 x 480 piksele yeniden boyutlandırmışlardır. OpenCV içerisinde yer alan Viola-Jones algoritmasını kullanarak yüz tanıma modeli geliştirmişlerdir. CNN kullanarak inşa ettikleri diğer modelde giriş görüntülerini 48 x 48 piksel olarak yeniden boyutlandırmışlardır. Görüntüyü CNN'e beslemeden önce yerel ikili patern (LBP) operatörünü kullanarak 46 x 46 piksel görüntüye çevirmişlerdir. Bu sayede her pikseli kodlayarak sistemin aydınlatma bağımlılığını azaltmışlardır. Veri kümesi üzerinde iki modeli de test ettiklerinde CNN kullanan model saniyede 2 kare performansa ve %97 başarı oranına ulaşmıştır.

Yüz ifadesi tanıma yaklaşımlarında DNN'ler (Derin Sinir Ağları) son zamanlarda öne çıkmaktadır. DNN, büyük miktardaki verilerde başarılı performanslar ortaya koyan sinir ağı mimarileridir. Bilgi işlem gücü gün geçtikçe büyüdükçe, DNN mimarileri metin, resim ve seste karmaşık desenler bulabilen beyin benzeri yapıların geliştirilmesine dayanan bir öğrenme mimarisi sağlamaktadır. Bu nedenle, FER çalışmalarında araştırmacılar derin sinir ağlarını eğiterek özellik tanıma ve çıkarma konusunda yüz ifadesi tanıma sistemini daha kısa sürede tasarlayabilir (Salunke and Patil 2018).

Afshin Dehghan ve arkadaşları (Dehghan et al. n.d.), 2017 yılında yaptıkları çalışmada kişilerin cinsiyetlerini ve yüz ifadelerini tespit eden derin öğrenme tabanlı, derin sinir ağlarına sahip bir boru hattı sistemi tasarlamışlardır. Sistem tasarlanırken 40.000'den farklı kişiye ait toplamda 4.0000.000 görüntü içeren veri seti kullanılmıştır. Yüz ifadesi tanıma işlemi için FER2013 veri setinde yer alan görüntülerden yararlanılmıştır. Veri seti oluşturulurken kullanılan görüntüler yarı denetimli bir şekilde cinsiyet ve duygu ifadelerine göre etiketlenmiştir. Etiketlenen veriler üzerinde yüz hizalaması gerçekleştirilmiştir. Sistemin

başarı oranları ise yaş tahmininde %61,3 olurken yüz ifadesi tanımadaki %76,1 olmuştur.

Bu çalışmada derin öğrenme teknikleri kullanılarak yüz tanıma ve yüz üzerinde duygu analizi gerçekleştiren yüz ifadesi tanıma sistemi geliştirilmiştir. Çalışma temel olarak veri kümesi oluşturma ve ön işleme, derin öğrenme modelleri oluşturularak yüz tanıma ve duygu analizi, deneysel sonuçlar olmak üzere 4 adımdan oluşmaktadır.

Yüz tanıma ve duygu analizi işlemleri için 2 farklı veri kümesi oluşturulmuştur. Veri kümesi oluşturulurken açık kaynak verilerden yararlanılıp herhangi bir etik dışı yönteme başvurulmamıştır. Yüz tanıma işlemi için veri kümesi oluşturulurken 4 farklı açık kaynak veri kümesi (CelebA, FFHQ, LFW ve Youtube yüzler veri kümesi) kullanılmıştır. Duygu analizi işlemi için FER-2013 veri kümesi kullanılmıştır. Veri kümeleri oluşturulurken farklı boyuttaki ve çözünürlükteki veriler ön işlemlerden geçirilerek standart hale dönüştürülmüştür.

Veri kümesi oluşturulduktan sonra derin öğrenme mimarilerinden AlexNet, Vgg-16 ve ZFNet mimarileri kullanarak yüz tanıma ve duygu analizi gerçekleştirilen modeller tasarlanmıştır. Modellerin başarı oranları karşılaştırılarak en başarılı sonucu veren Vgg-16 modeli ile çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir.

Çalışmanın diğer bölümleri şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde yüz tanıma ve duygu analizi için geliştirilen modellerin tasarlanması ve tasarım sürecinde kullanılan teknolojiler açıklanmıştır. Üçüncü bölümde elde edilen deneysel sonuçların karşılaştırılması, dördüncü bölümde ise sonuçlara değinilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Veri Kümesi Oluşturma ve Ön İşleme

Yüz tanıma sistemi tasarlanırken açık kaynak olarak araştırmacıların kullanımına açılmış 4 farklı veri tabanından veri kümesi oluşturulmuştur. Veri kümesi oluşturulurken araştırmacılar tarafından kullanılan CelebA (büyük ölçekli CelebFaces), FFHQ (Flickr-Faces-HQ Veri Kümesi), LFW (Wild Home veri kümesi) ve Youtube Yüzler Veri kümesi kullanılmıştır. Bu veri kümelerinde yer alan görüntülerden toplamda 300.000 görüntü eğitim amaçlı kullanılırken 60.000 görüntüde test amaçlı kullanılmıştır. Veri kümesinin özellikleri Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Veri setinde kullanılan veri tabanlarının özellikleri

Veri Tabanı	İçerdiği Görüntü Sayısı	Veri Tabanı Boyutu	Kullanılan Görüntü Sayısı
CelebA	200.000	8 GB	180.000
FFHQ	70.000	7 GB	50.000
LFW	13.000	173 MB	10.000
Youtube Yüzler Veri kümesi	155.560	10 GB	120.000



Yüz ifadesi tanıma işlemi için Fer-2013 veri seti kullanılmıştır. Veri seti, sinirli, iğrenme, üzgün, korku, mutlu, şaşkın ve nötr olmak üzere 7 insan duyusundan oluşan görüntüler içermektedir. Fer-2013 veri seti içerisinde 39.892 adet görüntü bulunmaktadır. Bu görüntüler veri seti içerisinde eşit olarak dağıtılmamıştır. Çalışmada yüz ifadesi tanıma modeli geliştirilirken ilk olarak Fer-2013 veri seti üzerinde sistem eğitilmiştir. Daha sonra veri kümesine görüntüler eklenerek veri kümesinin her sınıf için eşit sayıda görüntü içermesi amaçlanmıştır. Veri kümesinin dengeli ve dengesiz olduğu durumlarda sistemin başarı oranları karşılaştırılmıştır. Fer-2013 veri setinin özellikleri Tablo 2’de açıklanmıştır.

Tablo 2. FER-2013 veri seti özellikleri

Duygu Sınıfı	İçerdiği Görüntü Sayısı
İğrenme	1766
Üzgün	6176
Korku	6096
Mutlu	7849
Sinirli	6989
Nötr	7011
Şaşkın	4005

Veri kümeleri oluşturulduktan sonra görüntülerin eğitim aşamasında kullanılabilmesi için görüntüler üzerinde yeniden boyutlandırma ve kırpma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilecek yüz tanıma modellerinin giriş katmanı 224 x 224 x 1 boyutunda olduğu için görüntüler 224 x 224 piksel olarak yeniden boyutlandırılmıştır. Veri kümeleri hazır hale getirildikten sonra yüz tanıma işlemi için gerekli modeller evrişimsel sinir ağları kullanılarak tasarlanmıştır.

## 2.2. Yüz Tanıma ve Duygu Analizi Modellerinin Tasarlanması

Yüz tanıma işlemi için derin öğrenme tabanlı AlexNet, VGG-16, ZF Net mimarilerini temel alan 3 model geliştirilmiştir. Geliştirilen 3 modelde de evrişimsel sinir ağları kullanılmıştır. Modellerin başarı oranı veri kümesi üzerinde test edilerek en başarılı olan model tespit edilmiştir. Ayrıca yüz ifade analizi için 3 model eğitilerek modellerin başarı oranları karşılaştırılmıştır.

Evrişimsel (konvolüsyonel) sinir ağları, yapay sinir ağlarının çok katmanlı türüdür (Tüfekçi and Fatih Karpat n.d.). Genellikle bilgisayarlı görü alanında yapılan çalışmalarda yüksek başarı oranı yakalayan evrişimsel sinir ağları, görüntü üzerinde nesne tanıma çalışmalarında kullanılmaktadır. Evrişimli sinir ağı temel olarak giriş, konvolüsyon (evrişim), havuzlama, tam bağımlı katman ve sınıflandırma katmanlarından oluşmaktadır. Konvolüsyon ve havuzlama katmanları özellik çıkarımının yapıldığı, tam bağımlı ve sınıflandırma katmanları ise çıktının hangi sınıfa ait olduğunu tahmin eden katmanlardır.

Giriş katmanı, evrişimsel sinir ağına verinin özellik çıkarımı yapılmadan ham olarak verildiği katmandır (Koushik 2016). Giriş verisinin boyutu sinir ağının derinliğini belirler. Giriş boyutunun

yüksek olması sistemin eğitim süresini uzatmaktadır. Ayrıca daha fazla belleğe ihtiyaç duymasına sebep olmaktadır. Giriş boyutunun küçük olduğu sistemlerde ise sınıflandırma performansı düşmektedir (Koushik 2016).

Evrişim katmanı, belirli bir filtrenin görüntü üzerine uygulanması ile aktivasyon haritasının oluşturulduğu katmandır. Aktivasyon haritası, görüntü üzerinde yer alan bölgelerin önemini belirlediği haritalardır. Görüntünün giriş boyutuna göre 1x1, 2x2, 3x3 gibi çeşitli filtreler uygulanmaktadır. RGB formatındaki bir görüntünün derinliği 3 tür. Örnek olarak 5x5x3 boyutundaki bir görüntüye 3x3 boyutunda bir filtre uygulandığında 3x3 boyutunda bir aktivasyon haritası elde edilir. Aktivasyon haritası, görüntünün kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarındaki önem arz eden bölgelerini ve kenar özelliklerini tespit eder. Filtre uygulanırken katsayılar araştırmacılar tarafından belirlenebilir. Bir filtre görüntü üzerinde uygulanırken her indiste yer alan kat sayılar görüntü matrisinde yer alan indisteki değerler ile çarpılarak toplanır (Goodfellow et al. 2016).

Havuzlama katmanı, tasarlanan evrişimsel sinir ağı modellerinde isteğe bağlı olarak kullanılan bir katmandır. Evrişim katmanından sonra kullanılan bu katmanın temel amacı görüntünün genişlik ve yükseklik boyutlarını düşürerek bir sonraki katman için daha küçük boyutta çıktı üretmektir (Pervan 2019). Görüntü boyutunun küçültülmesi ağın ezberleme durumunu engellediği gibi bir sonraki katmanında iş yükünü azaltır (Özkan, Araştırma, and 2017 n.d.).

Havuzlama katmanında genel olarak maksimum havuzlama ve ortalama havuzlama yöntemleri kullanılmaktadır. Maksimum havuzlama yöntemi, görüntüye uygulanan filtrenin uygulandığı indislerdeki maksimum değeri alır. Ortalama havuzlama yöntemi ise filtrenin uygulandığı indislerdeki değerler toplamının ortalamasını alır. Filtreler görüntüye uygulanırken kaç adım gezdirileceğini ifade eden adımlama sayısı araştırmacı tarafından seçilir. Havuzlama katmanında elde edilecek çıktının boyutu katmana girdi olarak verilen görüntünün boyutuna, filtre boyutuna ve adımlama sayısına bağlıdır.

Tam bağımlı katman, kendisinden önce gelen evrişim ve havuzlama katmanları bağı olarak çalışmaktadır. Bu katmanlar sonucu elde edilen çıktılar tam bağımlı katmanda giriş olarak kullanılmaktadır. Havuzlama katmanı sonucunda elde edilen nöronlar tam bağımlı katmanda birbirine bağlanır. Tam bağımlı katmanda ağın ezberleme yapmasını engellemek için DropOut kullanılır. Birbirine bağlanmış nöronlar DropOut yardımı ile birbirinden koparılarak ezberleme yapılmasının önüne geçilir (Özkan, Araştırma, and 2017 n.d.).

Tam bağımlı katmandan sonra gelen sınıflandırma katmanı, sinir ağının son çıktı üreten katmanıdır. Sınıflandırma katmanında elde edilen çıktı sayısı sınıflandırılacak nesne sayısına eşittir. N tane sınıf için sınıflandırma işlemi yapılacaksa n tane 0 ile 1 arasında çıktı üretilir. 1’e en yakın olan çıktı nesnenin ait olduğu sınıf olarak kabul edilir. Sınıflandırma katmanında genel olarak SVM, Softmax, k en yakın komşu algoritması gibi sınıflandırıcılar kullanılmaktadır.

### 2.2.1 Vgg-16 Mimarisi ile Geliştirilen Yüz Yanıma Modeli

VGG-16 modeli 13 evrişim katmanı, 3 tam bağımlı katman olmak üzere toplamda 16 katmandan oluşan bir nesne tanıma mimarisidir (Simonyan and Zisserman 2015). 224 x 224 x 3 boyutundaki görüntüleri giriş olarak almaktadır. Evrişim, havuzlama ve tam bağımlı katmanlardan oluşmaktadır.

Geliştirdiğimiz modelde evrişim katmanlarında 3 x 3 boyutunda filtreler uygulanarak aktivasyon haritaları oluşturulmuştur. Bu aktivasyon haritaları giriş görüntüsü üzerinde ağırlıklı çıkartımı yapmasını sağlamıştır. Havuzlama işlemi yapılırken 2 x 2 boyutundaki filtreler ve maksimum havuzlama yöntemi kullanılmıştır. Modelde gerçekleştirilen havuzlama işlemlerinde adımlama sayısı 2 olarak alınmıştır. Modelde tam bağımlı katmana 7 x 7 x 512 boyutunda giriş görüntüsü verilmiştir. Tam bağımlı katmanda ise bu görüntüye karşılık 25.088 nöron oluşturulmuştur. Tam bağımlı katmanda DroupOut fonksiyonu kullanılarak bazı nöronlar serbest bırakılmıştır. Sınıflandırma katmanında ise softmax sınıflandırıcı kullanılarak geliştirilen model veri kümesi üzerinde eğitilmiştir.

### 2.2.2 AlexNet Mimarisi ile Geliştirilen Yüz Yanıma Modeli

Krizhevsky ve arkadaşları tarafından tasarlanan Alexnet modeli, 1000 nesneyi %15,4 hata oranı ile sınıflandırarak 2012 yılında düzenlenen ImageNet yarışmasını kazanmıştır. Alexnet modeli, temel olarak 5 evrişim katmanı, 3 havuzlama katmanı ve 3 tam bağımlı katman içermektedir (Krizhevsky, Sutskever, and Hinton 2017). Tasarlanan sinir ağına 224 x 224 x 3 boyutundaki görüntü giriş olarak verilmiştir.

AlexNet mimarisi referans alınarak geliştirilen model 11 katman olarak tasarlanmıştır. Evrişim katmanlarında 11 x 11, 5x5 ve 3x3 boyutunda filtreler kaydırılarak uygulanmıştır. Havuzlama katmanlarında maksimum havuzlama yöntemi uygulanarak sisteme girdi katmanında verilen 224 x 224 x 3 boyutundaki görüntü 6x6x256 boyutuna düşürülmüştür. Tam bağımlı katmana 9.216 nöron girdi olarak verilirken DropOut kullanılarak 4096 nörona düşürülmüştür. Son olarak sınıflandırma işlemi için softmax sınıflandırıcısı kullanılmıştır.

AlexNet mimarisi kullanılarak geliştirilen bu modelde her evrişim katmanından sonra Relu aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon katmanlardan çıkan değerlerin negatif değere eşit olmamasını sağlar. Çıktıları sıkıştırarak negatif değerlere sıfır atar.

### 2.2.3 ZFNet Mimarisi ile Geliştirilen Yüz Yanıma Modeli

Zeiler ve arkadaşları tarafından 2014 yılında geliştirilen ZF Net modeli 9 katmandan oluşmaktadır (Zeiler and Fergus 2014). 224 x 224 x 3 boyutundaki renkli görüntüler sinir ağına giriş olarak verilmiştir. Mimaride yer alan 5 adet evrişim katmanında AlexNet den farklı olarak 7 x 7 boyutundaki filtreler 2 adım kaydırılarak uygulanmıştır(Zeiler and Fergus 2014).

ZF Net mimarisi kullanılarak tasarlanan 3. Model AlexNet modeli ile benzerlik göstermektedir. 224x224x3 boyutundaki görüntü 13x13x256 boyutuna düşürülmüştür. Havuzlama yöntemi olarak maksimum havuzlama yöntemi kullanılmıştır. Tam bağımlı katmanda üretilen 43.264 adet nöronlardan 4096 tanesi tam bağımlı katmanda işleme tabi tutulmuştur. ZF Net tabanlı modelde sınıflandırıcı olarak softmax fonksiyonu kullanılmıştır

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yüz tanıma işlemi için Tablo 1’de belirtilen 4 farklı veri tabanından toplamda 360.000 görüntü üzerinde eğitim işlemi gerçekleştirilmiştir. Veri kümesinin %80’i eğitim verisi, %20’si test verisi olarak kullanılmıştır. Modeller eğitilirken eğitimin kaç kez gerçekleşeceği epoch (tur sayısı) ile belirlenmektedir. İlk

olarak modeller 10 tur eğitilmişlerdir. Eğitimin her adımında modelin ağırlıkları güncellenerek başarı oranları değişmektedir. Başarı oranları sabit kaldığı zaman modellerin eğitimi tamamlanmıştır. Eğitimin her adımında modelin ağırlıkları güncellenerek başarı oranları değişmektedir. Başarı oranları sabit kaldığı zaman modellerin eğitimi tamamlanmıştır. Modellerin başarı oranı hesaplanırken binary crossentropy fonksiyonu kullanılmıştır. Tablo 3’ de modellerin epoch değerlerine göre oluşan yüz tanıma başarı oranları gösterilmiştir.

Tablo 3. Geliştirilen yüz tanıma modellerinin başarı oranları

Tur Sayısı	Vgg-16 Modeli Başarı Oranı	AlexNet Modeli Başarı Oranı	ZFNET Modeli Başarı Oranı
10	%55,77	%47,35	%41,11
20	%67,01	%56,74	%50,47
30	%78,57	%65,35	%71,98
40	%90,14	%88,49	%80,63
50	%92,03	%88,49	%89,98

VGG-16 mimarisi kullanılarak inşa edilen model 1. eğitim adımında %55,77 başarı oranı yakalamıştır. Başarı oranı 43 epoch değerinden sonra sabit kalmıştır. 43. eğitim adımında model %92.03 başarı oranına ulaşmıştır.

AlexNet mimarisi ile tasarlanan 2. model 1. eğitim aşamasında %47,35 başarılı olmuştur. Model 38. epoch değerinde maksimum %88,49 değerini yakalamıştır. Geriye kalan eğitim adımlarında başarı oranı artmamıştır.

ZF Net ile tasarlanan model ise ilk eğitim adımında model %41,11 başarı oranı yakalamıştır. Tur sayısı arttıkça model 46.turda %89,98 başarı oranını yakalamıştır. 46. turdan itibaren başarı oranı sabit kalmıştır.

Modeller incelendiğinde en başarılı sonucu %92.03 başarı oranı ile VGG-16 modeli vermiştir. Modellere ait başarı oranlarının yüksek olmasının en önemli sebebi veri kümesinin sadece yüz görüntüleri içermesidir. Ayrıca veri kümesi üzerinde ön işleme adımı uygulanarak görüntüler modellerin giriş boyutuna uygun hale getirilmiştir. Bu da başarı oranını arttırmıştır.

Yüz ifadesi tanıma işlemi için AlexNet, VGG-16 ve ZF Net mimarileri referans alınarak 3 farklı model tasarlanmıştır. Modeller FER-2013 veri seti üzerinde eğitilmiştir. FER-2013 veri seti 7 farklı sınıftan farklı sayılarda görüntüler içermektedir.

Fer -2013 veri seti üzerinde geliştirilen modellere ait başarı oranları Tablo 4 ‘de ifade edilmiştir. Başarı oranları hesaplanırken Categorical Cross-Entropy loss fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon çok sınıflı sınıflandırmada kullanılmaktadır (Lau and Baldwin 2016). Tablo 4 incelendiğinde başarı oranı en yüksek olan model % 63,17 ile VGG-16 modeli olmuştur.

Tablo 4. Geliştirilen duygu analizi modellerinin başarı oranları

Tur Sayısı	Vgg-16 Modeli Başarı Oranı	AlexNet Modeli Başarı Oranı	ZFNET Modeli Başarı Oranı
10	%31,17	%28,14	%30,14
20	%38,23	%34,21	%37,10
30	%45,77	%40,36	%44,82
40	%54,39	%48,17	%50,37
50	%63,17	%53,84	%55,71

Modellerin başarı oranını arttırmak için Fer-2013 veri setine eklemeler yapılmıştır. Her sınıfta eşit sayıda görüntü olacak şekilde veri seti tekrardan düzenlenmiştir (Mungen et al. 2020). Her sınıf için 5000 adet görüntü yer alacak şekilde veri seti toplamda 35.000 görüntüden oluşturulmuştur. Verilerin %80'i eğitim, %20'si test aşamasında kullanılmıştır.

Veri kümesi dengeli hale getirildikten sonra tekrar eğitilen modeller içerisinde en başarılı sonucu %87,18 ile VGG-16 modeli vermiştir. Veri kümesinin dengeli olması modellerin başarı oranını minimum %25 arttırmıştır. Başarı oranları Tablo 5' de ifade edilmiştir.

Tablo 5. Geliştirilen duygu analizi (yüz ifade tanıma) modellerinin başarı oranları

Tur Sayısı	Vgg-16 Modeli Başarı Oranı	AlexNet Modeli Başarı Oranı	ZFNET Modeli Başarı Oranı
10	%64,38	%49,25	%52,31
20	%71,48	%58,67	%60,51
30	%75,11	%67,14	%68,76
40	%81,69	%74,89	%74,32
50	%87,18	%84,36	%85,61

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada derin öğrenme teknikleri kullanılarak yüz tanıma ve yüz ifadesi analizi yapılmıştır. Yüz tanıma uygulamasında başarı oranını etkileyen en önemli faktör modellerin giriş katmanındaki girdi boyutlarına göre eğitim kümesinin oluşturulmasıdır. Ayrıca veri kümesi hazırlanırken kişilerin farklı poz ve çözünürlükteki görüntülerinin kullanılması da başarı oranını arttırmıştır. AlexNet, VGG-16 ve ZF Net mimarileri referans alınarak inşa edilen modellerin başarı oranları ile eğitim adım sayıları arttıkça artmıştır. VGG-16 modeli ile geliştirilen yüz tanıma modeli ve yüz ifadesi tanıma modelleri diğer modellere göre daha başarılı sonuçlar vermiştir

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2019-2-TP2-3532 numaralı proje olarak desteklenmiştir. Destekleri için Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

#### 6. Kaynakça

- Dehghan, Afshin, Enrique G Ortiz Guang, Shu Syed, and Zain Masood. DAGER: Deep Age, Gender and Emotion Recognition Using Convolutional Neural Networks. <https://www.sighthound.com/products/cloud> (December 14, 2020).
- Dürr, Oliver et al. 2015. "Deep Learning on a Raspberry Pi for Real Time Face Recognition TubeCam: A New System to Detect Small Mammals (Foremost Mustelids and Dormice) View Project Speaker Diarization View Project Deep Learning on a Raspberry Pi for Real Time Face Recognition." researchgate.net. <https://www.researchgate.net/publication/279537625> (December 18, 2020).
- Goodfellow, I, Y Bengio, A Courville, and Y Bengio. 2016. "Deep Learning." <https://doi.org/10.4258/hir.2016.22.4.351> (January 3, 2021).
- Hjelmås, Erik. hig.no Feature-Based Face Recognition. <http://www.hig.no/~erikh/papers/nobim2000.pdf> (December 18, 2020).
- Kalocsai, P, C von der Malsburg, J Horn - Image and Vision Computing, and undefined 2000. "Face Recognition by Statistical Analysis of Feature Detectors." Elsevier. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0262885699000517?casa\\_token=H2O15WOWp8AAAAAA:LjVzRWDnOUdLj-oM7Pq4-JOM6jPmDySyCEictAB\\_iKVYec6n-aMMtmJXNAkJ1muYdQFJ1zKUES2q](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0262885699000517?casa_token=H2O15WOWp8AAAAAA:LjVzRWDnOUdLj-oM7Pq4-JOM6jPmDySyCEictAB_iKVYec6n-aMMtmJXNAkJ1muYdQFJ1zKUES2q) (December 18, 2020).
- Koushik, Jayanth. 2016. "Understanding Convolutional Neural Networks." <http://arxiv.org/abs/1605.09081> (January 3, 2021).
- Krizhevsky, Alex, Ilya Sutskever, and Geoffrey E. Hinton. 2017. "ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks." Communications of the ACM.
- Kumar, Ashu, Amandeep Kaur, and · Munish Kumar. 2019. "Face Detection Techniques: A Review." Artificial Intelligence Review 52: 927–48. <https://doi.org/10.1007/s10462-018-9650-2> (December 18, 2020).
- Lau, Jey Han, and Timothy Baldwin. 2016. "An Empirical Evaluation of Doc2vec with Practical Insights into Document Embedding Generation." In Association for Computational Linguistics (ACL), 78–86.
- Mungen, A. A., Aygün, İ., & Mehmet, K. A. Y. A. (2020). Finding the Relationship Between News and Social Media Users' Emotions in the COVID-19 Process. Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences, 3(3), 250-263.
- Özkan, İ, E Ülker - Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma, and undefined 2017. "Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri." pdfs.semanticscholar.org. <https://pdfs.semanticscholar.org/e2b2/4cc0c4c529d341c450bc18f949968c7cac8d.pdf> (January 3, 2021).
- Pervan, Nergis. 2019. ANKARA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZİ DERİN

- ÖĞRENME YAKLAŞIMLARI KULLANARAK TÜRKÇE METİNLERDEN ANLAMSAL ÇIKARIM YAPMA. <http://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12575/41714> (January 3, 2021).
- Salunke, Vibha V., and C. G. Patil. 2018. "A New Approach for Automatic Face Emotion Recognition and Classification Based on Deep Networks." In 2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation, ICCUBEA 2017, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Satish, Anila, Nanjundappan Devarajan, S Anila, and N Devarajan. 2010. researchgate.net Simple and Fast Face Detection System Based on Edges IoT Based Automatic Farm Management System Using Wireless Sensor Networks View Project Powerful and Dominating Woman View Project Simple and Fast Face Detection System Based on Edges. <https://www.researchgate.net/publication/225292501> (December 18, 2020).
- Simonyan, Karen, and Andrew Zisserman. 2015. "Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition." In 3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015 - Conference Track Proceedings, International Conference on Learning Representations, ICLR.
- Tüfekçi, Mustafa, and Doç Fatih Karpat. "Derin Öğrenme Mimarilerinden Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN) Üzerinde Görüntü İşleme-Sınıflandırma Kabiliyetinin Arttırılmasına Yönelik Yapılan Çalışmaların İncelenmesi." www.set-science.com (January 2, 2021).
- Vatsa, M, R Singh, and A Majumdar. 2018. "Deep Learning in Biometrics." [https://books.google.com/books?hl=tr&lr=&id=rGhQDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Vatsa,+M.,+Singh,+R.+and+Majumdar,+A.,+2018.+Deep+Learning+in+Biometrics,+CRC+Press+Taylor+%26+Francis+Group,+New+York&ots=e69JCxR4g3&sig=J4s94pKBX3s\\_HGKCMsSzsyy3pU](https://books.google.com/books?hl=tr&lr=&id=rGhQDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Vatsa,+M.,+Singh,+R.+and+Majumdar,+A.,+2018.+Deep+Learning+in+Biometrics,+CRC+Press+Taylor+%26+Francis+Group,+New+York&ots=e69JCxR4g3&sig=J4s94pKBX3s_HGKCMsSzsyy3pU) (December 12, 2020).
- Wiskott, Laurenz, Jean Marc Fellous, Norbert Krüger, and Christoph Der Von Malsburg. 1997. "Face Recognition by Elastic Bunch Graph Matching." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 19(7): 775–79.
- Zeiler, Matthew D., and Rob Fergus. 2014. "Visualizing and Understanding Convolutional Networks." In Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), Springer Verlag, 818–33.
- Zhang, H, Y Xie, C Xu - Proceedings 2011 International, and undefined 2011. "A Classifier Training Method for Face Detection Based on AdaBoost." ieexplore.ieee.org. <https://ieexplore.ieee.org/abstract/document/6199306/> (December 18, 2020).
- Learning." <https://doi.org/10.4258/hir.2016.22.4.351> (January 3, 2021).
- Koushik, Jayanth. 2016. "Understanding Convolutional Neural Networks." <http://arxiv.org/abs/1605.09081> (January 3, 2021).
- Krizhevsky, Alex, Ilya Sutskever, and Geoffrey E. Hinton. 2017. "ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks." *Communications of the ACM*.
- Özkan, İ, E Ülker - Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma, and undefined 2017. "Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri." [pdfs.semanticscholar.org/e2b2/4cc0c4c529d341c450bc18f949968c7cac8d.pdf](https://pdfs.semanticscholar.org/e2b2/4cc0c4c529d341c450bc18f949968c7cac8d.pdf) (January 3, 2021).
- Pervan, Nergis. 2019. ANKARA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZİ DERİN ÖĞRENME YAKLAŞIMLARI KULLANARAK TÜRKÇE METİNLERDEN ANLAMSAL ÇIKARIM YAPMA. <http://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12575/41714> (January 3, 2021).
- Simonyan, Karen, and Andrew Zisserman. 2015. "Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition." In 3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015 - Conference Track Proceedings, International Conference on Learning Representations, ICLR.
- Tüfekçi, Mustafa, and Doç Fatih Karpat. "Derin Öğrenme Mimarilerinden Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN) Üzerinde Görüntü İşleme-Sınıflandırma Kabiliyetinin Arttırılmasına Yönelik Yapılan Çalışmaların İncelenmesi." www.set-science.com (January 2, 2021).
- Zeiler, Matthew D., and Rob Fergus. 2014. "Visualizing and Understanding Convolutional Networks." In *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Springer Verlag, 818–33.





# The Effects of Wastewater on The Chemical and Physical Properties of Fine-grained Soils

Nurdan Baykuş<sup>1\*</sup>, Mehmet Karpuzcu<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Kilis 7 Aralık University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Construction, Vocational School of Technical Sciences, Kilis, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6199-3363), nurdanbaykus@kilis.edu.tr

<sup>2</sup> Hasan Kalyoncu University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Gaziantep, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7488-0977), mehmet.karpuzcu@hku.edu.tr

(First received 15 October 2021 and in final form 16 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010488)

**ATIF/REFERENCE:** Baykuş, N. & Karpuzcu, M. (2021). The Effects of Wastewater on The Chemical and Physical Properties of Fine-grained Soils. *European Journal of Science and Technology*, (31), 771-775.

## Abstract

The objective of this study was to evaluate the effects of different management and land use on soil chemical and physical properties as well as to validate the sensitivity of the soil to leachate. For this purpose, the effect of the wastewater discharged to the soil on the soil's properties taking advantage of the wastewater treatment capacity of the soil was investigated. In this study, different fine-grained soils named SA, SG, SK, and SU were placed in plexiglass pipes with a length of 100 cm and a diameter of 20 cm and fed with wastewater for 21 days with an uninterrupted flow. Soil samples were collected from pipes after 21 days and some parameters were evaluated the effect on soil structure. As a result, it was revealed that the existing chemical and physical properties of fine-grained soils were affected by wastewater. The pH values of the soils showed a slight tendency to increase after wastewater leachate, except for the SG soil. The Na and K contents of soils increased up to approximately 283% and 390%, respectively. Additionally, it was calculated that the SAR of the soils increased by 118.18%-180.70%. The EC value decreased by 8.77% in SA soil after wastewater leakage, while it increased by 189% in SG soil. While the N and H contents of soils decreased after the wastewater leachate, the Mg, Ca, P, Al, Pb, Zn, and C contents varied according to the soil type. As the fine grain percentage of the soils increased, their Na adsorption capacity increased ( $r^2=0.96$ ).

**Keywords:** Fine-grained Soils, Soil Chemistry, Soil Filter, Wastewater Leakage.

## İnce Taneli Zeminlerin Kimyasal ve Fiziksel Özelliklerine Atık Suyun Etkileri

### Öz

Bu çalışmanın amacı, farklı yönetim ve arazi kullanımının, zeminlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve ayrıca zeminin sızıntı suyuna karşı duyarlılığını doğrulamaktır. Bu amaçla, atık suyu arıtma kapasitesinden yararlanılarak, zemine deşarj edilen atık suların, zemin özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada, SA, SG, SK ve SU olarak adlandırılan farklı ince taneli zeminler, 100 cm uzunluğunda ve 20 cm çapında pleksi-glass borulara yerleştirildi ve kesintisiz akışla 21 gün boyunca atık su ile beslendi. 21 günün sonunda, zemin örnekleri toplandı ve zemin yapısına etkisini değerlendirmek için birtakım özellikleri incelendi. Sonuç olarak, ince taneli zeminlerin mevcut kimyasal ve fiziksel özelliklerinin atık sudan etkilendiği belirlendi. Atık su sızıntısından sonra, SG zeminini hariç, zeminlerin pH değerleri hafif bir ölçüde artma eğilimindeydi. Zeminlerin Na ve K içeriği sırasıyla yaklaşık %283 ve %390'a kadar arttı. Ek olarak, zeminlerin SAR değerinde, %118.18-%180.70 oranında artış olduğu hesaplandı. EC değeri, SA zemininde %8.77 oranında azalırken, SG zemininde %189 oranında arttı. Atık su sızdırılan zeminlerin, N ve H içeriği azalırken, Mg, Ca, P, Al, Pb, Zn ve C içerikleri, zemin tipine göre farklılık gösterdi. Zeminlerin ince dane yüzdesi arttıkça, Na absorpsiyon kapasiteleri arttı ( $r^2=0.96$ ).

**Anahtar Kelimeler:** İnce Taneli Zeminler, Zemin Kimyası, Zemin Filtresi, Atık Su Sızıntısı.

\* Corresponding Author: nurdanbaykus@kilis.edu.tr

## 1. Introduction

Nowadays, the treatment and recovery of wastewater are becoming increasingly important in terms of protecting water resources and reducing the burden on clean water resources [1]. Generally, wastewater treatment involves collecting the wastewater in a place that is transported by the central sewer system and treatment of wastewater according to its type. However, in some rural settlement areas without a central sewer system, network construction of the central sewer system can not possible and the harmless removal of wastewater can be provided by some natural treatment systems [2]. In these systems, the treatment capacity of the soil is used.

The treatment capacity of the soil can be roughly divided into three categories: filtration, adsorption, and decomposition [3]. Filtration provides the removal of pollutants such as turbidity, color, and suspended solids from the water by the flow of liquid (ie wastewater) through the soil pores. Adsorption can remove other pollutants retained by ion exchange [4]. And finally, decomposition can be defined as the microbial degradation of pollutants under aerobic or anaerobic conditions [3]. In general terms, it can be said that while the coarse particles in the soil perform the filtration process, the finer particles ensure the retention of pollutants by adsorption and some chemical reactions. Thus, pollutants substances in the dissolved state decompose and turn into less harmful substances or turn into insoluble substances and removed from the water by precipitation or adsorption. In this process, if the soil interacts with organic and inorganic pollutants, chemical, physical, mechanical and biological, etc. properties may change directly or indirectly [5]. Many research has been conducted on this subject in different disciplines [2, 21, 22, 23, 24].

Chemical properties, composition, and reactions of the soil are fundamental to all soil processes that affect the use of soil [6]. It provides an explanation of the nature of chemical elements in the interaction of soil with pollutants.

The objective of this study was to evaluate the effects of the application of wastewater on soil chemical and physical properties in fine-grained soils as well as to validate the sensitivity of the soil to leachate. For this purpose, four different fine-grained soils were used as material. These soils were compressed in their natural density into plexiglass pipes of 100 cm length and 20 cm diameter and fed with wastewater in an uninterrupted flow for 21 days. When creating pipes, 20 cm of drainage material was placed on the lower and upper sections. Soil samples were collected from the pipes after 21 days. Then, analyzes were conducted to compare the effects of macro and microelements (Na, Ca, Mg, K, N, P, H, Si, Al, Fe, Pb, and Zn) in the soil before and after leachate. Scanning electron microscope (SEM) imaging was examined to obtain information about the structure of soil particles. Additionally, a parameter such as the sodium absorption ratio (SAR) was derived from the data obtained.

## 2. Material and Method

### 2.1. Soil and Wastewater Samples

Soil samples used in this study were collected separately from four different provinces in the Southeast Anatolian Region/Turkey. In addition, it was taken from a depth of 150-200 cm by removing the organic layer. These samples (named SA, SG,

SK, and SU) were transported to a wastewater treatment facility in Gaziantep province to conduct experimental studies. Sieve and hydrometer analyses by ASTM D422-63 and ASTM D7928-17 were performed to determine the grain size distribution of the soil samples. Grain size distribution analysis showed that the fine grain percentages passing No.200 (0.075mm) sieve were 65.49%, 72.64%, 58.65%, and 86.32% for soil samples SA, SG, SK, and SU, respectively (Fig. 1).

The wastewater used in the study was obtained from the raw influent wastewater of the facility. The average water characteristics of the raw influent wastewater of the facility are given in Table 1. The water was first pumped into a septic tank, and then pipes formed from four different fine-grained soils were fed for 21 days uninterrupted at an average flow rate of 18 day/L. Soil samples for determining chemical properties were collected from emptied pipes at the end of 21 days. The samples were air-dried at room temperature, lightly crushed, and passed through a 0.425 mm sieve. The fine soil fraction (0.425 mm) was retained for chemical and physical analyses.

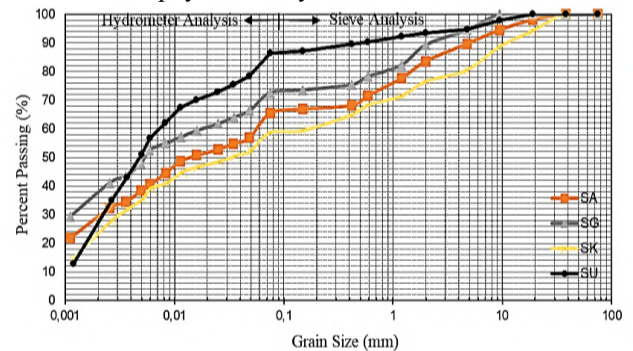


Figure 1. Grain size distribution of fine-grained soils.

Table 1. Average some properties of facility influent wastewater during the experimental study.

Parameters	Values
pH	7.685
Conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1552.85
Chemical Oxygen Demand (mg/L)	325.937
Suspended Solids (mg/L)	330.565
Total N (mg/L)	52.37
Total P (mg/L)	4.375
Ca (mg/L)	100.325
Mg (mg/L)	24.498
Na (mg/L)	76.755
K (mg/L)	40.738

### 2.2. Chemical and Physical Analyses

In this study, the chemical and physical properties of the soils were analyzed separately for each soil before and after wastewater was given to soil pipes and the results were compared. Soil samples were submitted to the University of Harran Application and Research Center for Science and Technology for the following analyses: sodium (Na), magnesium (Mg), calcium (Ca), potassium (K), nitrogen (N), phosphate (P), hydrogen (H), iron (Fe), aluminum (Al), lead (Pb), zinc (Zn) and carbon (C). Analyses of these elements were measured using an Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES). Soil

pH was measured with a HI221-pH meter in a solution prepared ratio of ½ (1 soil = 2 distilled water) [7, 8, 26]. The electrical conductivity (EC) was also determined using the 4520-Conductivity meter in the same solution. The SEM imaging of soils at 100 µm diameter and 100x magnification was conducted by Model-ZEISS/EVO LS10. Moreover, the sodium adsorption ratio (SAR) of fine-grained soils was calculated from the following equation based on the content of exchangeable cations Na, Mg, and Ca [9, 10].

$$SAR = \frac{Na + \sqrt{[Ca+2] + [Mg+2]}}{2}$$

### 3. Results and Discussion

Many of the current methods used to assess the effects of treatment on soil chemical properties have focused on soil chemical properties such as the content of C, N, P, and K elements [8, 25]. However, this situation may be limited in detecting short-term changes in the soil structure. Therefore, soil chemical elements were investigated more comprehensively in this study. The results of all analyzes of the soils are presented in Tables 2 and 3.

Table 2. Chemical and physical properties of fine-grained soils.

Parameters	Soil Type			
	SA	SG	SK	SU
pH	7.97	7.98	7.88	8.12
EC (µS/cm)	308	376	288	314
Na (mg/kg)	3.261	1.929	2.194	1.538
Mg (mg/kg)	171.1	72.72	97.59	59.46
Ca (mg/kg)	2192	2211	3119	944.2
K (mg/kg)	4.894	13.00	8.106	9.548
P (mg/kg)	359.6	50.19	97.83	32.95
Fe (mg/kg)	625.0	328.0	319.9	120.9
Al (mg/kg)	245.4	224.0	159.1	70.68
Pb (mg/kg)	0.163	0.289	0.080	0.121
Zn (mg/kg)	0.711	0.465	0.661	0.264
N (%)	0.20879817	0.16231136	0	0
H (%)	1.12872493	1.16791511	1.11512291	0.803222
C (%)	3.02648735	2.829049349	3.577930212	0.491614372
SAR (%)	9.50	5.70	5.50	6.90

Table 3. Chemical and physical properties of fine-grained soils after wastewater leakage.

Parameters	Soil Type			
	SA	SG	SK	SU
pH	8.02	7.76	8.22	8.22
EC (µS/cm)	281	1087	619	240
Na (mg/kg)	7.319	5.967	4.664	5.901
Mg (mg/kg)	142.6	91.07	100.8	152.9
Ca (mg/kg)	1826	2689	2893	2441
K (mg/kg)	24.07	24.03	8.956	29.37
P (mg/kg)	74.21	61.12	88.34	72.93
Fe (mg/kg)	<0.05	373.0	309.1	376.5
Al (mg/kg)	<0.05	247.8	130.0	212.5
Pb (mg/kg)	0.120	0.351	0.076	0.382
Zn (mg/kg)	0.531	0.772	0.676	0.775
N (%)	0.153939202	0.160495475	0	0
H (%)	0.73824626	1.11031353	1.04763496	0.60363293
C (%)	2.932234526	3.326600552	4.142601013	2.248875141
SAR (%)	23.0	16.0	12.0	16.0

After the wastewater leakage, the pH value decreased in the SG soil, while it increased in other soils. The most obvious increase occurred in SK soil with approximately 4.4%. Researchers have stated that there may be a small amount increase in the pH values after leakage of soils with slightly alkaline properties [11]. The EC values differed according to soil type. After wastewater leakage, the EC value of SA and SU soils decreased by 8.77% and 23.57%, respectively, while SG and SK increased by 189% and 115%, respectively. Previous studies have shown that the salinity value of the filtration fluid or SAR is related to the EC of the soil [12]. However, soil structure and formation are mainly important. Moreover, the solubility of salts and minerals other than Na is also important [26].

When the Na element content was examined, it was observed that there was an increase in all soil types between 112.58% and 283.68%. Moreover, the SAR values of the soils increased in the range of 118.18%-180.70%, depending on both the increase in Na contents and the decrease in Ca or Mg content. When the Na or SAR value absorbed in the soil exceeds 10-15%, decomposition or swelling of clays can lead to problems such as a decrease in soil pore size due to the fragmentation of coarse grains and thus a decrease in soil permeability [12, 13, 14]. Generally, it has been recorded that the clay content is high in soils with such problems [29]. Because the main sorbents that can exchange ions in the soil are clay minerals and organic substances [30]. Moreover, the Ca content has a flocculation effect in the soil whereas Mg content has an inverse effect. So, increasing the Ca/Mg ratio can improve



soil structure and aggregate stability [27]. But, results from this study showed that Na accumulated more than Ca in soil structure. Also, this accumulation was observed to be correlated with the fine grain ratios of the soils (Fig. 2). For this reason, the soil structure is likely to disintegrate or decompose. It seems that support is also the SEM images of soils before and after wastewater leakage (Fig. 3, 4, 5, and 6).

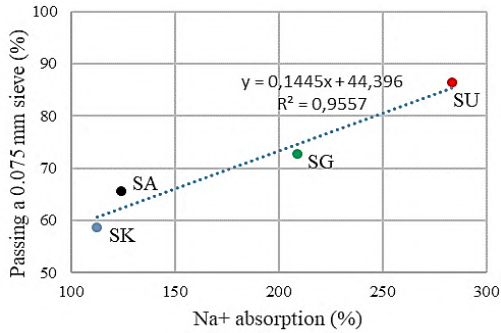


Figure 2. Grain size and Na<sup>+</sup> absorption percentage of soils.

Previous studies have reported that monovalent cations (ie. Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup>) in the soils also affected soil stability and bulk density [15, 27]. When Tables 2 and 3 were examined, the K content of all soils increased after wastewater leakage. The highest increase occurred in the K content of the SA soil at a rate of approximately 390.0%.

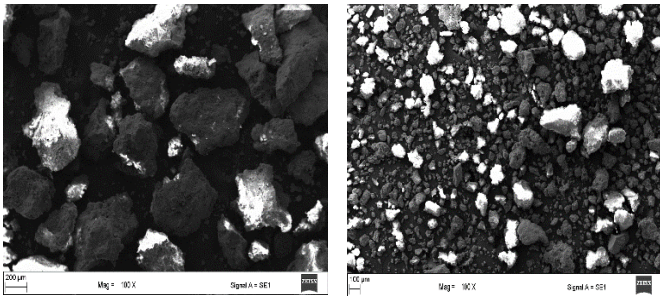


Figure 3. SEM image of SA soil.

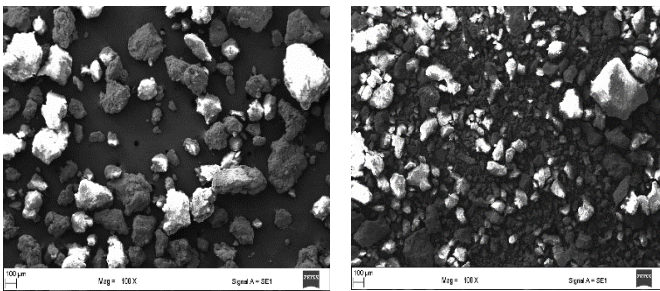


Figure 4. SEM image of SG soil.

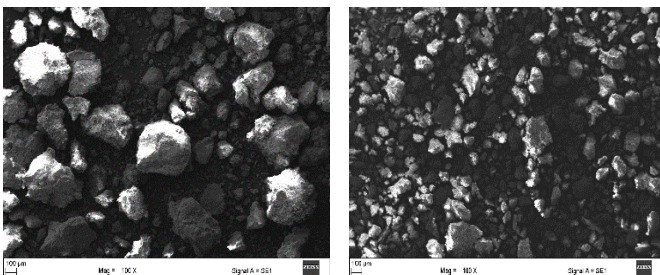


Figure 5. SEM image of SK soil.

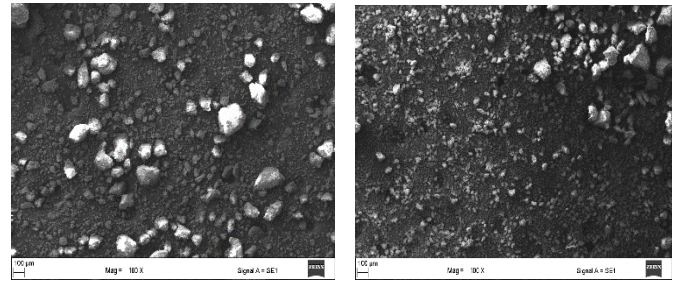


Figure 6. SEM image of SU soil.

\* Images (Fig. 3, 4, 5, and 6) represent the before (left) and after (right) wastewater leakage.

After the wastewater leakage, the P content in SA and SK soil decreased by 79.40% and 9.70%, respectively, while it increased in other soils. As for the N content, it decreased by 26.0% and 1.12% in SA and SG soils, respectively. The N content was not found in the SK and SU soils. The H content of the soils decreased somewhat after the wastewater leakage. The C content of the soils increased, except for SA. The C content in soils can be stated as an important mechanism in the complexation of soil or clay minerals [16]. Also, it can be expressed that it is important in terms of microbial activity [17].

When the elements in the metal group were examined, the content of Fe and Al decreased significantly in the SA soil and even depleted. The amounts of these elements increased in SG and SU soils but decreased slightly in SK soil. While the contents of Pb and Zn elements increased slightly in SG and SU soils, they decreased in SA soils. On the other hand, there was no significant change in SK soil. Previous studies have shown that treated wastewater use or continuous application of municipal wastewater can increase the existing heavy metal content in soil [18, 19]. In other studies, it has been stated that wastewater treatment or irrigation did not have a significant effect on the heavy metal content in soil [20, 27, 28].

#### 4. Conclusions and Recommendations

Soil chemical properties are important in contributing to soil use processes, controlling the status and activities of certain microbial communities, and characterizing soil quality. In this study, the effects of land filtration methods used for wastewater disposal and treatment in rural areas on the chemical and physical properties of different soils were investigated. As a result of this study, the effect of wastewater on the existing properties of fine-grained soils was revealed.

After the wastewater leakage, the pH of the soils tended to increase slightly, except for the SG soil. While the EC value decreased by 8.77% in SA soil, it increased by 189% in SG soil. After wastewater leakage, Na and K contents of all soils were found to increase. In addition, it was calculated that the SAR value of the soils increased by 118.18%-180.70%. While the N and H contents of the soils after wastewater leakage decreased, the contents of Mg, Ca, P, Al, Pb, Zn, and C varied according to the soil type. It was found that as the fine grain percentage of the soils increased, the Na absorption capacity increased (r<sup>2</sup>=0.96).

The accumulated effect of organic and inorganic liquids on soil structure with a well-designed field experiment can be monitored and evaluated over a long period. As a result of



different land use and management, the chemical and physical properties of soils may be affected.

## References

- [1] Bixio, D., Thoeve, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., & Melin, T. (2006). Wastewater reuse in Europe. *Desalination*, 187(1-3), 89-101.
- [2] Baykuş, N. (2021). Treatment of wastewater by infiltration and its effect on the engineering properties of natural soils. Department of Civil Engineering, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Hasan Kalyoncu University, Ph.D. Thesis.
- [3] Wang, X. H., Zhang, Y., & Huang, C. H. (2014). Experimental study on the treatment of sewage by soil. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 464, pp. 179-183). Trans Tech Publications Ltd.
- [4] Cheremisinoff, N. P. (2001). Handbook of water and wastewater treatment technologies. Butterworth-Heinemann. ISBN: 0-7506-7498-9.
- [5] Mohamed, O. M. A., and Antia, E. H. (1998). *Geoenvironmental Engineering*, Vol.82, 1st Edition, Imprint: Elsevier Science, ISBN: 9780080532448, 706.
- [6] Sparks, D. L. (2019). Fundamentals of soil chemistry. *Encyclopedia of Water: Science, Technology, and Society*, 1-11.
- [7] Acir, N. & Günal, H. (2019). Toprak katyon değişimin kapasitesi tahmininde pedotransfer fonksiyonlarının kullanımı. Ispac Uluslararası Tarım ve Kırsal Kalkınma Kongresi, 10-12 Haziran 2019, 437-443.
- [8] Odlare, M., Pell, M., & Svensson, K. (2008). Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. *Waste management*, 28(7), 1246-1253.
- [9] Suarez, L. D. and Gonzalez-Rubio, A. (2017). Effects of the dissolved organic carbon of treated municipal wastewater on soil infiltration as related to sodium adsorption ratio and pH. *Soil Science Society of America Journal*, (2017)81:602-611, DOI:10.2136/sssaj2016.09.0310.
- [10] Richards, L. A. (Ed.) (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, *Agriculture Handbook No. 60*, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
- [11] Husson, O., Brunet, A., Babre, D., Charpentier, H., Durand, M., & Sarthou, J. P. (2018). Conservation agriculture systems alter the electrical characteristics (Eh, pH, and EC) of four soil types in France. *Soil and Tillage Research*, 176, 57-68.
- [12] Temizel, K. E., & Sedat, T. O. K. (2019). Farklı sodyum adsorbsiyon oranı değerlerine sahip sulama sularının bazı toprak özelliklerine etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(3), 1729-1736.
- [13] Läuchli, A. and Epstein, E. (1990). Plant responses to saline and sodic conditions. *Agricultural salinity assessment and management*, 71, 113-137.
- [14] Jnad, I. (2000). Characterizing soil hydraulic properties in the drainfield of a subsurface drip distribution system. Texas A&M University, Doctor of Philosophy Thesis, Civil Engineering, December 2000.
- [15] Tejada, M., & Gonzalez, J. L. (2005). Beet vinasse applied to wheat under dryland conditions affects soil properties and yield. *European Journal of Agronomy*, 23(4), 336-347.
- [16] Sparks, D. L. (2019). Fundamentals of soil chemistry. *Encyclopedia of Water: Science, Technology, and Society*, 1-11.
- [17] Rezaei, S. A., & Gilkes, R. J. (2005). The effects of landscape attributes and plant community on soil chemical properties in rangelands. *Geoderma*, 125(1-2), 167-176.
- [18] Abd-Elwahed, M. S. (2018). Influence of long-term wastewater irrigation on soil quality and its spatial distribution. *Annals of Agricultural Sciences*, 63(2), 191-199.
- [19] Khaskhoussy, K., Kahlaoui, B., Nefzi, B. M., Jozdan, O., Dakheel, A., & Hachicha, M. (2015). Effect of treated wastewater irrigation on heavy metals distribution in a Tunisian soil. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 5(3), 805-810.
- [20] Galavi, M., Jalali, A., Ramroodi, M., Mousavi, S. R., & Galavi, H. (2010). Effects of treated municipal wastewater on soil chemical properties and heavy metal uptake by sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Journal of Agricultural Science*, 2(3), 235.
- [21] Oluremi, J. R., Adedokun, S. I., Olaoye, R. A., Ajamu, S. O., & Eng, M. (2012). Assessment of cassava wastewater on the geotechnical properties of lateritic soil. *Pacific Journal of Science and Technology*, 13(1), 631-639.
- [22] Abedi-Koupai, J., Mostafazadeh-Fard, B., Afyuni, M., & Bagheri, M. R. (2006). Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. *Plant Soil and Environment*, 52(8), 335.
- [23] Karpuzcu, M., Baykuş, N., & Yurtsever, A. (2020). An experimental study on treatment of domestic wastewater by natural soil. *Engineering Sciences*, 15(4), 196-208.
- [24] Irfan, M., Chen, Y., Ali, M., Abrar, M., Qadri, A., and Bhutta, O. (2018). Geotechnical properties of effluent-contaminated cohesive soils and their stabilization using industrial by-products. *Processes*, 6(2018), 203, DOI:10.3390/pr6100203.
- [25] Asik, B. B., Aydinalp, C., Katkat, A. V., & Sagban, F. O. T. (2015). Effect of the application of various wastewater sludges on the properties of sandy soil. *Environmental monitoring and assessment*, 187(2), 1-11.
- [26] Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loepfert, R. H., & Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. *Methods of Soil Analysis Part 3- Chemical Methods*.
- [27] Hasan, H., Battikhi, A., & Qrunfleh, M. (2014). Impacts of treated wastewater reuse on some soil properties and production of *Gladiolus communis*. *Journal of Horticulture*, 1-9.
- [28] Mohammad Rusan, M. J., Hinnawi, S., & Rousan, L. (2007). Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination*, 215(1-3), 143-152.
- [29] Dawes, L., & Goonetilleke, A. (2003). An investigation into the role of site and soil characteristics in onsite sewage treatment. *Environmental Geology*, 44(4), 467-477.
- [30] Thompson, A., & Goynes, K. W. (2012). Introduction to the sorption of chemical constituents in soils. *Nature Education Knowledge*, 4(4), 7.



# Short-Term Change Detection and Markov Chain Prediction of Greenhouse Areas in Alanya, Turkey Using Sentinel-2 Imageries

Melis Inalpulat<sup>1\*</sup>, Levent Genc<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Canakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Agricultural Remote Sensing Laboratory (AGRESEL), Computer-Agriculture-Planning (ComAgPlan) Study Group, Canakkale, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7418-1666), [melisinalpulat@gmail.com](mailto:melisinalpulat@gmail.com)

<sup>2</sup> Canakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Architecture and Design, Department of Urban and Regional Planning, Land Use and Climate Change Laboratory (LUCC-Lab.), Computer-Agriculture-Planning (ComAgPlan) Study Group, Canakkale, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0074-0987), [leventgc@gmail.com](mailto:leventgc@gmail.com)

(First received 4 November 2021 and in final form 26 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1019033)

**ATIF/REFERENCE:** Inalpulat, M. & Genc, L. (2021). Short-Term Change Detection and Markov Chain Prediction of Greenhouse Areas in Alanya, Turkey Using Sentinel-2 Imageries. *European Journal of Science and Technology*, (31), 776-782.

## Abstract

Greenhouses provide controlled growth conditions and possibility off-season production for various agricultural products while there are some reported adverse effects on the environment due to particularly increased plastic waste, changed soil properties, and ecosystem degradation in their extensive use. Monitoring recent status and forecasting future probabilities of greenhouse coverage (ha, %) comprise influential tool for researchers and planners to reach more sustainable and environmental-friendly situations. Present paper deals with detection of short-term changes in greenhouse areas using high resolution Sentinel-2 imageries, and prediction of probable future status via markov chain model within Alanya, Turkey. The changes in greenhouse coverages were evaluated considering initial acquisition year of imageries, and change analyses were conducted between 2015 and 2021 years. Use of a Landsat-derived plastic greenhouse index to discriminate between greenhouse and other surrounding land cover land use (LCLU) types was tested for Sentinel-2. The LCLU<sub>2015</sub> and LCLU<sub>2021</sub> maps were consisted of five main classes including natural vegetation, open agricultural field, water surface, concrete structure, and greenhouse. Classification accuracies were assessed by checking the actual statuses of 200 equalized random control points using Google Earth application. The changes in LCLU within the major greenhouse located zone were evaluated through post-classification comparison technique. Future greenhouse areas, as well as other LCLU types, were predicted through markov chains for 2027 year by considering the same time interval. Findings have revealed that greenhouse areas have remarkably increased in the last years, and have great potential to continue expanding in the near future. Utilization of the index imageries to increase the classification accuracy of greenhouses is recommended.

**Keywords:** Alanya, Change detection, Greenhouse, Markov chain prediction, Sentinel-2.

## Sentinel-2 Görüntüleri Kullanılarak Alanya, Türkiye' deki Örtüaltı Alanlarının Kısa Dönem Değişiminin Belirlenmesi ve Markov Zinciri Tahminlemesi

### Öz

Örtüaltı yetiştiriciliği birçok tarımsal ürün için kontrollü büyüme şartları ve mevsimden bağımsız üretim olanağı sağlarken, yoğun kullanılmaları durumunda artan plastik atıklar, değişen toprak özellikleri ve çevresel bozunumdan dolayı rapor edilmiş bazı olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Daha sürdürülebilir ve çevre dostu koşullara ulaşmak için örtüaltı yetiştiriciliği alanlarının (ha, %) hâlihazırdaki durumunun izlenmesi ve gelecekteki olası alanların tahminlenmesi, araştırmacılar ve planlayıcılar için etkili araçlardır. Bu çalışma Alanya' da yer alan örtüaltı yetiştiriciliği yapılan alanlarda kısa dönemde meydana gelen değişimlerin yüksek çözünürlüklü Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak belirlenmesi ve gelecekteki olası durumun markov zinciri modeli aracılığı ile tahminlenmesine odaklanmıştır. Örtüaltı alanlarındaki değişimler, görüntülerin ilk alındığı tarih gözetilerek değerlendirilmiş ve değişim analizleri 2015 ile 2021 yılları arasında yürütülmüştür. Landsattan türetilmiş bir plastik örtüaltı indeksinin, örtüaltı alanları ve etrafındaki diğer arazi örtüsü ve arazi kullanımı (AÖAK) tiplerinin birbirinden ayrılabilmesinde kullanımı Sentinel-2 için test edilmiştir. AÖAK<sub>2015</sub> ve AÖAK<sub>2021</sub> haritaları doğal vejetasyonu, açık tarım alanı, su yüzeyi, betonarme yapılar ve örtüaltı sınıfları olmak üzere beş ana sınıftan oluşmuştur. Sınıflama doğrulukları, sınıflardan rastgele ve eşit miktarda atanan 200 kontrol noktasının doğruluğu Google Earth uygulaması ile kontrol edilerek değerlendirilmiştir. Örtüaltı alanlarının bulunduğu ana zonda meydana gelen AÖAK değişimleri sınıflama sonrası karşılaştırma tekniği ile değerlendirilmiştir. Gelecekteki örtüaltı alanları, diğer AÖAK sınıflarında olduğu üzere, markov zinciri modeli ile ayrı yıl aralığı göz önünde bulundurularak 2027 yılı için tahminlenmiştir.

\* Corresponding Author: [melisinalpulat@gmail.com](mailto:melisinalpulat@gmail.com)

Bulgular, geçtiğimiz yıllarda sera alanlarının fark edilebilir biçimde arttığını ve yakın gelecekte de gelecekte de bu alanların büyük bir genişleme potansiyelinin bulunduğunu göstermiştir. Örtüaltı alanların sınıflama doğruluğunun artırılması için indeks görüntülerinin kullanımı önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alanya, Değişim belirlenmesi, Markov zincir tahminlemesi, Örtüaltı, Sentinel-2.

## 1. Introduction

Greenhouse systems are reported to be conversion of traditional agriculture into more controlled conditions using industrial and technological approaches, which was mainly prompted by conditioning urban features to rural, in terms of using covering materials for agricultural production purposes (Levin et al., 2007). These systems provide continuous production independent from seasons due to controlled growth conditions by protecting the plants not only from inappropriate weather conditions but also from insects or diseases, and provides optimization of water use, and thus, widely used in various regions of the world since the late 40s (Gernaud, 2000; Jiang and Yu, 2008; Jimenez-Lao et al., 2020). This type of production systems are also reported to be significant for economic and employment situations, as well as food security (Sonmez and Sari, 2006). Therefore, the coverage of greenhouse areas is progressively increasing. In fact, the extent of greenhouse coverages has reported to reach approximately 3020 million hectares, whereas the majority of the greenhouses are located in China, Mediterranean countries, North Africa and Middle East (Wu et al., 2016).

Besides the advantages of protected production in greenhouse conditions, there are some adverse impacts on the environment. Researchers emphasized that increment in especially plastic coverage may lead to decreased plant biodiversity, degradation of soil properties, increased level of residues, increased level of contaminated and eutrophicated water resources, and fragmentation sourced from LCLU changes (Lu et al., 2014; Parra et al., 2008; Thompson et al., 2020). In both positive and perspectives of greenhouse production, determination of the changes in a specified area presents an important step for assessing the recent status and forecasting future conditions. At this juncture, remote sensing (RS) data for investigation of such changes in different spectral, spatial and temporal resolutions have long been used for pixel- and object-based determination of greenhouse areas with different aspects. For instance, Ma et al. (2021) highlighted the significance of high resolution RS imageries in estimation of vegetable yields in greenhouses, while Li et al. (2020) mentioned the necessity of greenhouse film monitoring as an environmental issue, by considering medium and high resolution satellite imageries. However, there are some limitations for greenhouse mapping and monitoring due to the fact that differentiation in coverage materials variates the spectral signatures of these greenhouses (Tarantino and Figorito, 2012). Different indices related to greenhouse determination were proposed by researchers including different band ratios of electromagnetic spectrum, for instance, Lu et al. (2014), Sun et al. (2021), and Themistocleous (2020).

In present study, it was aimed to determine the short-term changes in greenhouse areas between 2015 and 2021 years in Alanya city using Sentinel-2 imageries, and to predict the coverage of greenhouses in 2027 year depending on the past statuses through markov chain model. In addition to the orinal imageries, performance of a Landsat-based plastic greenhouse

index for discrimination of greenhouses in selected area of interest was evaluated through LCLU<sub>2015</sub> and LCLU<sub>2021</sub> maps to achieve the aims.

## 2. Material and Method

### 2.1. Study area

Study is conducted in Alanya city of Antalya province, Turkey (Figure 1a). Alanya city presents typical Mediterranean climate and vegetation characteristics. Agriculture is one of the two essential economic sources in the area. Growth of diverse agricultural products is possible due to suitable soil and climatic conditions whereas many tropical fruits are specifically grown in the area, and transport to different regions. Greenhouse production has a key role in the continuous productivity of various agricultural plants in the study area, as well as in whole Mediterranean region. Eventhough, classification and accuracy assessment procedures were conducted in whole city, results were interpreted within 10 km buffer zone from coastal line, where the greenhouses are intensively located (Figure 1b).

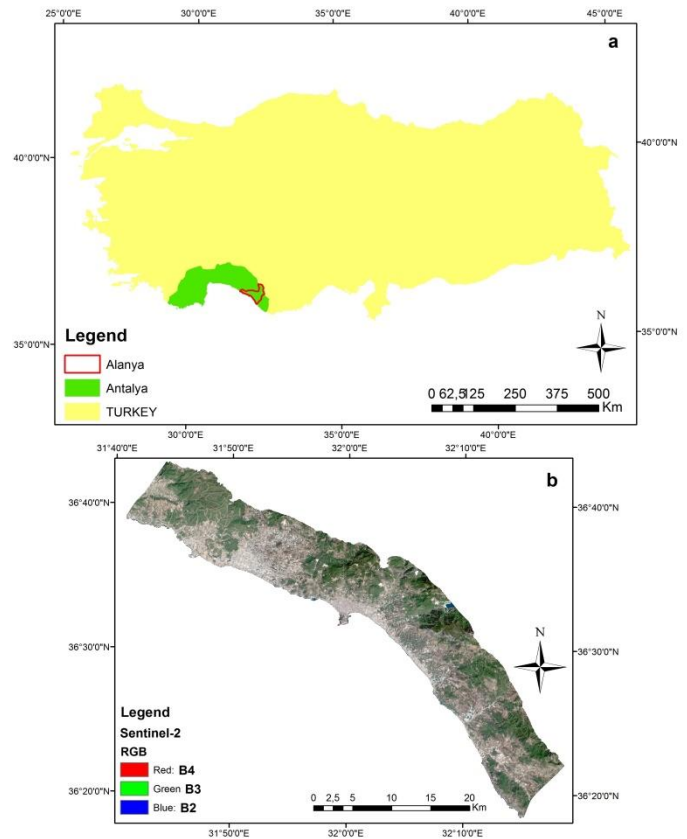


Figure 1 a) Location of Alanya in Antalya Province and Turkey, b) Study area

Şekil 1 a) Alanya'nın Antalya İli ve Türkiye'deki konumu, b) Çalışma alanı

### 2.2. Sentinel-2 imageries

Available cloudless imageries of Sentinel-2 imageries, which are provided by European Space Agency (ESA), were

freely downloaded from United States Geological Survey (USGS) Earth Explorer web portal (<https://earthexplorer.usgs.gov>). The study area is covered by two pairs of Sentinel-2 imageries with tiles of T36SUF and T36SVF, which were mosaicked in image pre-processing step for each date. The imageries of were selected from the same month of each year to eliminate probable differences in illumination conditions and production patterns, and the acquisition dates of imageries are 26 August, 2015 and 24 August, 2021. Sentinel-2 imageries have thirteen bands covering different parts of electromagnetic spectrum with various spatial resolutions with 10, 20 and 60 m. The central wavelength (nm), band width (nm), and spatial resolution (m) properties of bands are given in Table 1 (<https://sentinels.copernicus.eu>).

Table 1 Properties of Sentinel-2 bands

Tablo 1 Sentinel-2 bantlarının özellikleri

Band	Central Wavelength (nm)	Band Width (nm)	Spatial Resolution (m)
1	443	21	60
2	492	66	10
3	560	36	10
4	665	31	10
5	704	15	20
6	740	15	20
7	783	20	20
8	833	106	10
8a	865	21	20
9	945	20	60
10	1374	31	60
11	1614	91	20
12	2202	175	20

### 2.3. Image Pre-Processing, Classification and Accuracy Assessment Procedures

Prior to the image classification step, the 20 m bands of each date and tile were resampled to 10 m. Subsequently, the resampled bands were stacked, and multispectral images of two tiles were mosaicked for each date to obtain full coverage of Alanya city subset. Moreover, a retrogressive plastic greenhouse index (RPGI) which was offered for Landsat ETM+ imageries by Yang et al. (2017) were calculated (1) to determine whether it presents higher classification accuracy for greenhouse areas than the original imageries in the specified area.

$$RPGI = \frac{R_{Blue}}{1 - \text{mean}(R_{Blue} + R_{Green} + R_{NIR})} \quad (1)$$

The original multispectral images and RPGI images were classified to generate LCLU<sub>2015</sub> and LCLU<sub>2021</sub> using one of the most widely used classification algorithm of maximum likelihood. The training samples were randomly collected from five main classes namely natural vegetation (N), open agricultural field (A), water surface (W), concrete structure (C), and greenhouse (G).

The reliabilities of classifications were evaluated through accuracy assessment procedures and the accuracy of 200 control points that were randomly and equally distributed for each class

were assessed via high resolution Google Earth images of 2015 and 2021 years according to Congalton and Green (2009). Overall accuracy (OA) and overall kappa statistics were considered for whole classification whereas producer's accuracies and user's accuracies and class kappas (CA) were utilized to determine the reliabilities at class-level depending on equations from 2 to 8, respectively.

$$OA = \frac{\text{Total Correctly Classified}}{\text{Total Classified}} \times 100 \quad (2)$$

$$PA = \frac{\text{Correctly Classified Points}}{\text{Class Reference Points}} \times 100 \quad (3)$$

$$UA = \frac{\text{Correctly Classified Points}}{\text{Total Classified Points for Class}} \times 100 \quad (4)$$

$$K = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} = \frac{N \sum_{i=1}^n x_{ii} - \sum_{i=1}^n x_{i+} * x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^n x_{i+} * x_{+i}} = \frac{(\sum P_{ii}) - (\sum P_{i+} + P_{+j})}{1 - (\sum P_{i+} + P_{+j})} \quad (5)$$

$$P_o = \sum P_{ii} = \frac{\text{Total CoRrectly Classified Points}}{\text{Total Points}} \quad (6)$$

$$P_c = \sum P_i + P + j \quad (7)$$

$$P_c = \frac{(\frac{\text{Class1 Row total} \times \text{S1 Column total}}{\text{Total Points}}) + \dots + (\frac{\text{Class5 Row Total} \times \text{Sj Column Total}}{\text{Total Points}})}{\text{Total Points}} \quad (8)$$

### 2.4. Future Prediction

Furthermore, depending on the past LCLU statuses, future greenhouse areas were predicted using markov chain model for 2027 year together with other LCLU types, by considering the same time interval. The model was initially used by Burnham (1973), with the aim of future LCLU modelling by considering the changes between two dates occurred in a certain area (Sang, 2011; Hamad, 2018) (9, 10, and 11).

$$S(t, t + 1) = P_{ij} \times S(t) \quad (9)$$

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$0 \leq P_{ij} \leq 1 \quad (11)$$

where  $S(t)$  and  $S(t + 1)$  are the statuses of time<sub>1</sub>, and time<sub>2</sub>, respectively,  $P_{ij}$  is transition probability matrix,  $P$  is transition probability.  $P_{ij}$  represents probability for transition of state  $i$  to  $j$  in time<sub>2</sub>, ranging from 0 to 1;  $P_n$  is the state probability of a certain time.

Prediction module of the publicly available future land use simulation model was used to obtain number of pixels for each class of 2027, which were later converted to survey area coverage (<https://www.geosimulation.cn/FLUS.html>). The LCLU maps with more accurate greenhouse classifications were decided to be used in the prediction process.



### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Classification Accuracy and LCLU maps

The results of accuracy assessments have revealed that, 2015 images seemed more accurately classified than 2021. This situation mainly sourced from the complexity of LCLU pattern presenting mixed spectral characteristics particularly where the construction processes are still ongoing. Furthermore, OA and OK of LCLU maps obtained from original band imageries of both years were quite higher than RPIG index-derived LCLU maps (Table 2 and Table 3). The OA of 2015 from original and index imageries were 86% and 84% with OK values of 0.8250 and 0.8000, respectively. The PA of original imagery based LCLU maps were ranged between 80 % and 100% for 2015, as well as UAs. The PA values of LCLU maps derived from original bands were varied from 70% to 100% whereas UAs were ranged between 80% and 100% for 2021. Accordingly, investigation PA, UA, and CA for individual classes demonstrated that eventhough OA and OK were higher for LCLU maps obtained from original imageries, G areas could be classified more accurately in index-derived LCLU maps (Table 2-4). The CA values for G class were increased from 0.7500 to 0.8624 in 2015 and from 0.7154 to 0.7962 in 2021 by using RPIG index-derived LCLU maps.

Table 2 Overall accuracies and class accuracies of 2015 year

Tablo 2 2015 yılı toplam doğruluklar ve sınıf doğrulukları

2015				
Classes	Original LCLU		Index LCLU	
	OA 86.00%	OK 0.8250	OA 84.00%	OK 0.8000
	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)
N	81.82	90.00	72.73	80.00
C	80.00	80.00	77.78	70.00
A	88.89	80.00	88.89	80.00
W	100.00	100.00	100.00	100.00
G	80.00	80.00	81.82	90.00

Table 3 Overall accuracies and class accuracies of 2021 year

Tablo 3 2021 yılı toplam doğruluklar ve sınıf doğrulukları

2021				
Classes	Original LCLU		Index LCLU	
	OA 82.00%	OK 0.7750	OA 80.00%	OK 0.7500
	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)
N	88.89	80.00	70.00	70.00
C	81.82	90.00	80.00	80.00
A	77.78	70.00	63.64	70.00
W	100.00	100.00	100.00	100.00
G	63.64	70.00	88.89	80.00

Table 4 Class kappa values of 2021 year

Tablo 4 2021 yılına ait sınıf kappa değerleri

Years	2015		2021	
	Original LCLU	Index LCLU	Original LCLU	Index LCLU
	CA	CA	CA	CA
N	0.8718	0.7436	0.7664	0.7250
C	0.7500	0.6341	0.8812	0.7500
A	0.7872	0.7561	0.7348	0.6564
W	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
G	0.7500	0.8624	0.7154	0.7962

Depending on the accuracy-related findings, the overall classifications were higher for original band based LCLU maps whereas index-derived LCLU maps gave better classification accuracy for G class, but weak overall classification. Therefore, LCLU<sub>2015</sub> and LCLU<sub>2021</sub> obtained from original bands were represented to designate LCLU status of study area (Figure 2a, b). Furthermore, the more accurate G areas from index-derived LCLU was represented on Sentinel-2 imageries in Figure 3a, b.

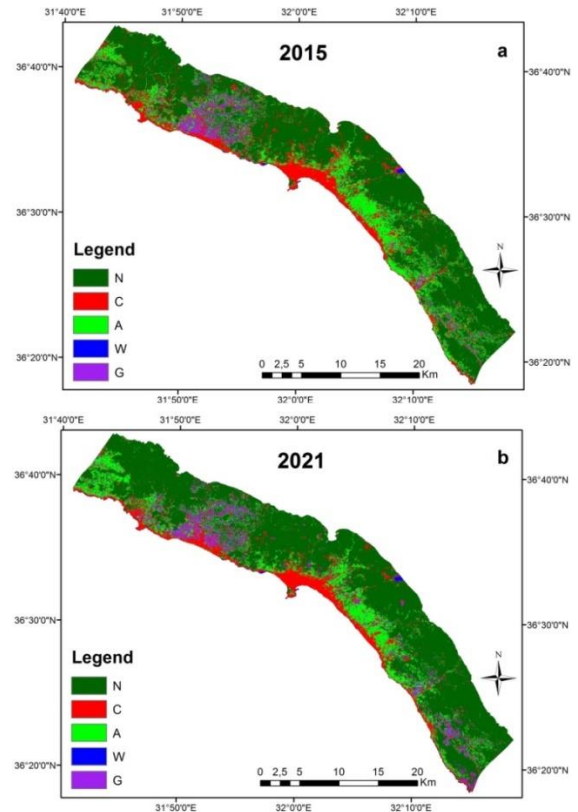


Figure 2 LCLU maps obtained from original band imageries a) LCLU<sub>2015</sub>, and b) LCLU<sub>2021</sub>

Şekil 2 orijinal bant görüntülerden elde edilen a) AOAK<sub>2015</sub> ve b) AOAK<sub>2021</sub>

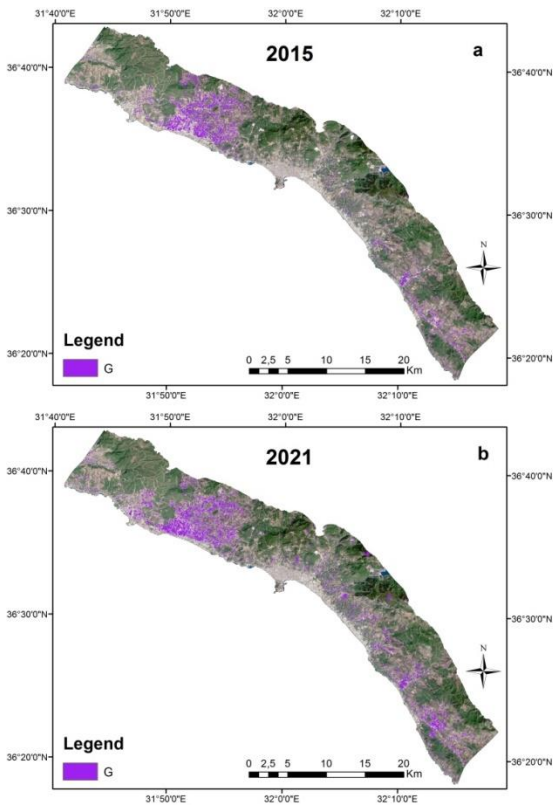


Figure 3 Greenhouse areas obtained from RPGL LCLU maps a) 2015, and b) 2021

Şekil 3 RPGL AOAK haritalarından elde edilen örtüaltı alanları a) 2015 ve b) 2021

### 3.2. LCLU Changes

As it is mentioned before, although the OA and OK of LCLU maps obtained from original band imageries were quite higher, the index-derived maps with more accurate G classification were used in the further steps in respect to concepts of the study. Accordingly, the coverage of G areas was increased from 5.2% to 7.5% with an increment of 2.3% (Figure 4). The C class areas showed an increment tendency, as well as G areas. The increase in C areas is probable to be eventuated against the needs and preferences of growing population in the area. There was a slight decrease from 62.4% to 62.1% in N areas, which was mainly sourced from misclassifications. The decrease occurred in A class areas (2.7%) against the increments of G and C areas together.

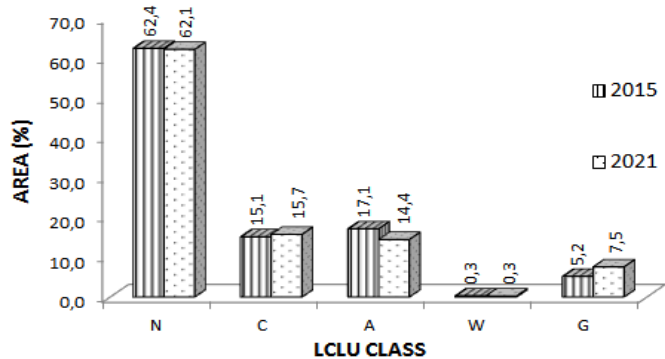


Figure 4 Temporal changes in LCLU class areas (%)

Şekil 4 AOAK sınıf alanlarındaki zamansal değişimler (%)

### 3.3. Future Status of Greenhouse Areas

The future areas for LCLU classes were predicted depending on the transition probabilities ranging between 0 and 1, whereby higher values represents higher probability of occurrence. The transition probability of A class to G seemed comparatively higher than the other class-to-class transitions (Table 5). It was followed by the probability of C to G transition, which was occurred due to spectral similarity of bare soils especially located around the recently constructed G areas. Furthermore, predicted percentage areas (%) of each LCLU class are given in Figure 5. The most observable change is predicted to occur in A class with a decrease of 3.5%. Main reason of this reduction seemed strongly related to high transition probability to G areas, which was followed by transition probability to C class. On the contrary, the G class coverage is expected to increase by 2.8% and reach to 10.3% in the middle of 2027. In addition, almost 1% increase was predicted for C class coverage. Finding designated that the urban expansion rate was smaller than G class expansion in the area for the investigated time interval. On the other hand, the predicted decrease in N areas was only 0.1%. Finally, there is negligible change in W class according to predicted values, which was not observable in percent area level (%).

Table 5 Transition probabilities of LCLU classes

Tablo 5 AOAK sınıflarının dönüşüm olasılıkları

Class	N	C	A	W	G
N	0.904784	0.019841	0.052081	0.000001	0.023293
C	0.085873	0.562849	0.077774	0.001174	0.272330
A	0.070712	0.090480	0.492353	0.000001	0.346454
W	0.000590	0.003071	0.004816	0.984816	0.006707
G	0.022160	0.103910	0.010058	0.000691	0.863181

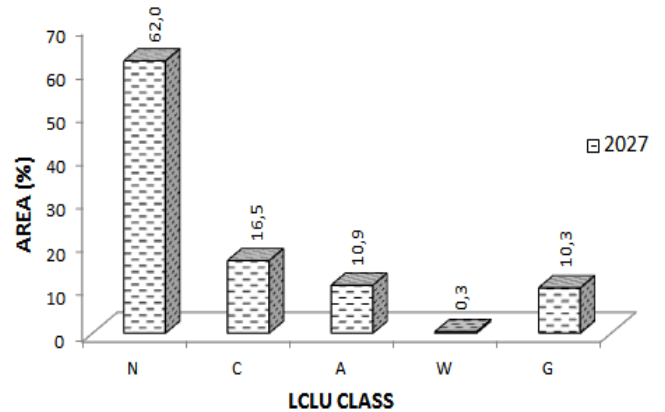


Figure 5 Predicted LCLU class areas (%) for 2027

Şekil 5 2027 yılı için tahminlenen AOAK sınıf alanlarının (%)

### 3.4. Discussion

Greenhouse production is known to compose the major part of conversion process from extensive to intensive farming which brings various benefits on production, as well as some negative impacts on the environment (Yang et al., 2017). Therefore, mapping and temporal monitoring of greenhouse areas have become a significant area of interest among researchers from different disciplines such as; agriculture, environment, and rural planning. In this context, remote sensing imageries are presenting valuable datasets for this purpose, and provide rapid, reliable and relatively economic results at different scales. Particularly, increase of publicly available satellite imageries that acquired from different sensors with various resolutions has accelerated the number of studies conducted in related research area. Object- and pixel-based approaches have long been applied to satellite imageries with different spatial, spectral and temporal resolutions for discrimination of greenhouses by different researchers (Aguilar et al., 2015; Koc-San, 2013; Novelli et al., 2016). In addition to investigation of past and present status of greenhouse areas, determination of potentially suitable areas for new greenhouses presents a contemporary topic in last few years (Cemek et al., 2017; Rezaeiniya et al, 2014; Saltuk, 2019).

In present study, short-term changes were investigated through historic LCLU maps and future condition was predicted depending on the past statuses. In addition to original imageres, RPGI index was composed to be used in classification process. All generated LCLU maps designated that great majority of G class areas are located within a 10 km zone from the coastal line of Alanya. Thence, a buffer zone was composed to extract this part from whole city coverage, and results were interpreted for this specific area of interest. The results of accuracy assessments have uncovered that G areas could be classified more accurately using RPGI index, whereby the classified G areas were also coherent with Turkish Statistical Institute (TUIK) database of greenhouse area for both years (<https://biruni.tuik.gov.tr>). Findings also revealed that there was considerable change in G class coverage within the studied time period, and the trend is foreseen to continue in the next few years. The predicted increase of G coverage within study area is approximately 3%, and this corresponds to 36.73% expansion rate for G class between 2021 and 2027, which seemed quite fast for a 7-year period. Therefore, more controlled and environmental-friendly approaches should be considered in the area to avoid undesired effects of rapid changes in the study area.

### 4. Conclusions and Recommendations

Present study focused on the determination and prediction of short-term changes around main greenhouse locations of Alanya, Turkey, whereas the initial study year was selected in respect to availability of Sentinel-2 imageries. Use of RPGI index, which was offered for Landsat ETM+, was investigated for specified study area, and gave satisfactory results in terms of higher accuracy for G area classification. In brief, study may provide a better understanding of both LCLU and greenhouse area changes in the considered time period within the specified area. It presents the first greenhouse prediction study in the selected area of interest, and believed to have potential to assist the planning approaches for planners and decision makers in the local authorities. A study is planned for simulation of future

greenhouse areas in a sustainable way in Antalya Province, Turkey, using Sentinel-2, together with soil, climate, and terrain properties, and other ancillary data.

### 5. Acknowledge

The satellite data have obtained from United States Geological Survey (USGS). The Future Land Use Simulation (FLUS) model was downloaded from Geographical Simulation and Optimization Systems (GeoSOS) website.

### References

- Aguilar, M.A., Vallario, A., Aguilar, F.J., Lorca, A.G., Parente, C. (2015). Object-based greenhouse horticultural crop identification from multi-temporal satellite imagery: A case study in Almeria, Spain. *Remote Sensing*, 7, 7378-7401.
- Burnham, B.O. (1973). Markov intertemporal land use simulation model. *Southern Journal of Agricultural Economics.*, 5, 253-258.
- Cemek, B., Guler, M., Arslan, H. (2017). Spatial analysis of climate factors used to determine suitability of greenhouse production in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 128, 1-11.
- Congalton, R.G., Green, K. (2009). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. 2<sup>nd</sup> Ed. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Garnaud, J.C. (2000). Plasticulture: Bulletin du comité international des plastiques en agriculture. *Plasticulture*, 119, 30-43.
- Hamad, R., Balzter, H., Kolo, K. (2018). Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios. *Sustainability*, 10, 3421. <https://doi:10.3390/su10103421>
- Jiang, W.J., Yu, H.J. (2008). Present situation and future development for protected horticulture in mainland China. *In Proceedings of the Acta Horticulturae; International Society for Horticultural Science*, 770, 29-35.
- Jimenez-Lao, R., Aguilar F.J., Nammaoui, A., Aguilar, M.A. (2020). Remote sensing of agricultural greenhouses and plastic-mulched farmland: An Analysis of Worldwide Research. *Remote Sensing*, 12, 2649. <https://doi:10.3390/rs12162649>
- Koc-San, D. (2013). Evaluation of different classification techniques for the detection of glass and plastic greenhouses from WorldView-2 satellite imagery. *Journal of Applied Remote Sensing*, 7(1), 073553. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.7.073553>
- Levin, N., Lugassi, R., Ramon, U., Braun, O., Ben-Dor, E. (2007). Remote sensing as a tool for monitoring plasticulture in agricultural landscapes. *International Journal of Remote Sensing*, 28(1), 183-202. <https://doi:10.1080/01431160600658156>
- Li, J., Pei, Y., Zhao, S., Xiao, R., Sang, X., Zhang, C. (2020). A review of remote sensing for environmental monitoring in China. *Remote Sensing*, 12, 1130.
- Lu, L., Di, L., Ye, Y.A. (2014). Decision-tree classifier for extracting transparent plastic-mulched land cover from Landsat-5 TM images. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, 7, 4548-4558.
- Ma, A., Chen, D., Zhong, Y., Zheng, Z., Zhang, L. (2021). National-scale greenhouse mapping for high spatial resolution remote sensing imagery using a dense object

- dual-task deep learning framework: A case study of China. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 181, 279-294.
- Novelli, A., Aguilar, M.A., Nemmaoui A., Aguilar, F.J., Tarantino, E. (2016). Performance evaluation of object based greenhouse detection from Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI data: A case study from Almería (Spain). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 403-411.
- Parra, S., Aguilar, F.J., Calatrava, J. (2008). Decision modelling for environmental protection: The contingent valuation method applied to greenhouse waste management. *Biosystems Engineering*, 99, 469-477.
- Rezaeiniya, N., Ghadikolaie, A.S., Mehri-Tekmeh, J., Rezaeiniya, H. (2014). Fuzzy ANP approach for new application: greenhouse location selection; a case in Iran. *Journal of Mathematics and Computer Science*, 8, 1- 20.
- Saltuk, B. (2019). Determination of greenhouse potential in Siirt Province and districts by using GIS and recommendations to producers. *European Journal of Science and Technology*, 15, 343-350.
- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., Yun, W. (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 938-943.
- Sonmez, N.K., Sari, M. (2006). Use of remote sensing and geographic information system technologies for developing greenhouse databases. *Turkish Journal Of Agriculture and Forestry*, 30, 413-420.
- Sun, H., Wang, L., Lin, R., Zhang, Z., Zhang, B. (2021). Mapping plastic greenhouses with two-temporal Sentinel-2 images and 1D-CNN deep learning. *Remote Sensing*, 13, 2820. <https://doi.org/10.3390/rs13142820>
- Tarantino, E., Figorito, B. (2012). Mapping rural areas with widespread plastic covered vineyards using true color aerial data. *Remote Sensing*, 4(7), 1913-1928. <https://doi.org/10.3390/rs4071913>
- Themistocleous, K., Papoutsas, C., Michaelides, S., Hadjimitsis, D. (2020). Investigating detection of floating plastic litter from space using Sentinel-2 Imagery. *Remote Sensing*, 12, 2648.
- Thompson, R.B., Padilla, F.M., Peña-Fleitas, M.T., Gallardo, M. (2020). Reducing nitrate leaching losses from vegetable production in Mediterranean greenhouses. *Acta Horticulture*, 1268, 105-117.
- Wu, C.F., Deng, J.S., Wang, K., Ma, L.G., Tahmassebi, A.R.S. (2016). Object-based classification approach for greenhouse mapping using Landsat-8 imagery. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9(1), 79-88.
- Yang D., Chen, Z., Zhou, Y., Chen, X., Chen, X., Cao, X., (2017). Mapping plastic greenhouse with medium spatial resolution satellite data: Development of a new spectral index. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 128, 47-60.





# Halkla İlişkiler Ajansları için Bulut Tabanlı Güvenli Çok Taraflı Hesaplama ve İş Birliği Servisi – SMPCCaaS

Şaha Burcu Baygöl Özpınar<sup>1\*</sup>, Alper Özpınar<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Üsküdar Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Halkla İlişkiler ve Tanıtım, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6374-0354), saha.ozpinar@uskudar.edu.tr

<sup>2</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1250-5949), aozpinar@ticaret.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 23 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 12 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013962)

**ATIF/REFERENCE:** Baygöl Özpınar, Ş. B. & Özpınar, A. (2021). Halkla ilişkiler ajansları için bulut tabanlı güvenli çok taraflı hesaplama ve işbirliği servisi – SMPCCAAS. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 783-790.

## Öz

Günümüzde veriye erişebilmek ve bu veriyle yapılabileceklerin farkında olmak her sektörde kurumlar için büyük önem taşımaktadır. Halkla ilişkiler alanında da veri kavramı merkezi konumdadır. Halkla ilişkiler uzmanları, bir kurum, marka, ürün, kavram veya birey hakkında genel halkın ya da hedef kitlelerin algısını etkilemek için gerçek verileri kullanmaktadır. Uzmanlar farklı kaynaklardan elde edilen verilerle bilgilere ulaşabilmekte ve bunları analiz ederek daha doğru kararlar alabilmektedir. Kaliteli veri hizmete değer katmaktadır. Bu nedenle halkla ilişkiler ajansları ve uzmanları bu konudaki teknolojileri takip etmek ve hızla benimsemek durumundadır. Veriye ulaşmanın tek yolu birincil ya da ikincil araştırmalar değildir. Bu çalışmada son yıllarda büyük ilgi görmeye başlayan güvenli veri paylaşımı konusunun halkla ilişkiler alanındaki yansımaları ele alınmaktadır. Bilginin değerinin giderek arttığı bir çağda halkla ilişkiler ajanslarının güvenli veri işleyebilmesi için bulut tabanlı, güvenli ve çok taraflı bir hesaplama ve iş birliği servisinin kullanılabilirliği tartışılmakta ve bir sistem önerisi sunulmaktadır. Bu makale böyle bir sistemin halkla ilişkilerde kullanımını içeren ilk çalışma olarak alana ve alan yazına katkıda bulunmayı hedeflemektedir. Güvenli çok taraflı hesaplama ve gizliliği koruyan hesaplama yaklaşımları halkla ilişkiler faaliyetleri için önemli bir potansiyel sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Halkla İlişkiler, Veri Yönetimi, Bulut Bilişim, Güvenli Çok Taraflı Hesaplama, Homomorfik Şifreleme, Veri Gizliliği

## Cloud Based Secure Multi Party Computing and Collaboration Service for Public Relations Agencies - SMPCCaaS

### Abstract

Today, access to data and to know what can be done with it is of great importance for all institutions. Data is also central in the field of public relations. Public relations professionals use real data to influence the perception of the public or target audiences about an institution, brand, product, concept or individual. Experts can access information with data obtained from different sources and can make more accurate decisions by analyzing them. The use of quality data adds value not only to the corporate image, but also to the service of experts who use it. For this reason, public relations agencies and experts must follow and rapidly adopt the technologies in this field. Primary or secondary research is not the only way to access data. This study deals with the reflections of secure data processing in the field of public relations. In an era where the value of information is increasing, this study discusses the availability of a cloud-based, secure, and multilateral computing and collaboration service, and proposes a system for public relations agencies to share data securely. This article aims to contribute to the field and the literature as the first study involving the use of such a system in public relations. Secure multilateral computing and private computing approaches offer significant potential for public relations activities.

**Keywords:** Public Relations, Data Governance, Cloud Computing, Secure Multi Party Computation, Homomorphic Encryption, Privacy Preserving

\* Sorumlu Yazar: saha.ozpinar@uskudar.edu.tr

## 1. Giriş

İlki 1800'lerin sonlarına doğru başlayan sanayii devrimleri sonrasında gelen teknolojik gelişmeler, küçük işletmeleri geliştirerek büyük şirketlere dönüşmelerini sağlamıştır. 1900'lü yıllarda eski ekonomi olarak tanımlanan bir iş modeli içerisinde, şirketler için en önemli kavram üretim olmuş (Laudon ve Laudon, 2011), üretimi artırma ve arzın çok üzerinde olan talebe cevap verme amacı güdülmüştür. Bu dönem sermayenin yükselip büyüdüğü dönem olarak bilinmektedir. İlerleyen yıllarda, savaş ekonomilerinin etkilerinin azalıp yok olması, üretim teknolojilerinin gelişmesi ve sanayii devrimlerinin gerçekleşmesi sonucu üretim büyük sermaye gruplarının tekel olmaktan çıkmış ve rekabet farklı bir alana doğru kaymıştır.

Bu yıllarda artan arz ile müşteri kavramı değer kazanmış, sadece ihtiyaca yönelik ürün ve hizmet üretmek değil bunları tanıtıp tutundurmak da önemli hale gelmiştir. İlerleyen yıllarda müşteri ile iletişim kurmak, ilişki yönetimi, sosyal pazarlama ve halkla ilişkiler gibi kavramlar şirketlerin stratejileri içerisinde giderek daha fazla yer bulmaya başlamıştır. Özellikle 1950'li yıllardan sonra halkla ilişkiler şirketler için üretmek kadar önemli bir kavram; stratejik bir iş süreci haline gelmiştir. Bu alanda literatürde yapılmış birçok çalışma ve mihenk taşı olarak tanımlanabilecek eser bulunmaktadır (Grunig ve Grunig, 1992; Harrison, 1953; Seitel, 2017; Wilcox et al., 2006) Tüm tarihsel ve toplumsal gelişmeler ile yeni ekonomik düzenlerin oluşması neticesinde, halkla ilişkiler ajansları da kendi evrimlerini geçirmek zorunda kalmışlardır. Bu evrimin tetikleyicisi doğal olarak, yeni koşullarda çalışmaya başlayan ve halkla ilişkiler ajanslarının müşterisi olan şirketlerdir. Ajans müşterilerinin halkla ilişkiler kavram ve süreçlerine olan bakışları, yeni stratejilere, yöntem ve tekniklere duydukları ihtiyaç, ajansların teknolojik gelişmeleri takip etmelerini ve hızla benimsemelerini gerektirmektedir.

Halkla ilişkiler giderek daha fazla veri odaklı hale gelmektedir. Dünyada halkla ilişkiler sektöründe, büyük veri giderek daha fazla benimsenmekte, verinin iyi uygulamaların temeli olmasına çalışılmaktadır. Veriye ulaşmak, paylaşmak ve kullanmak bir planlama gerektirir. Bu çalışmada 2010'lu yıllardan bu yana tartışılan ancak 2020'den itibaren daha büyük ilgi görmeye başlayan güvenli veri paylaşımı konusunun halkla ilişkiler alanındaki yansımaları ele alınmaktadır. Bilginin değerinin giderek arttığı bir çağda halkla ilişkiler ajanslarının güvenli veri paylaşımı yapabilmesi için bulut tabanlı, güvenli ve çok taraflı bir hesaplama ve iş birliği servisinin kullanılabilirliği tartışılmakta ve bir sistem önerisi sunulmaktadır.

## 2. Halkla İlişkiler ve Verinin Önemi

Günümüzün halkla ilişkiler yaklaşımını anlamak için kavramın tarihi gelişimini anlamak önem taşısa da halkla ilişkiler hakkında kısa bir tarihçe yazılması gerektiğinde nereden başlanacağı bir sorun teşkil etmektedir. Cutlip (1994) alanın kökenlerinin kesin bir tarihle belirlenemeyeceğini, çünkü zaman içinde (ve farklı coğrafyalarda) bir dizi olayla geliştiğini açıklamaktadır. Bununla birlikte çoğu kaynak halkla ilişkiler mesleğinin başlangıcını 1900 ortalarında Boston'da "The Publicity Bureau" yani "Tanıtım Bürosu" adlı ajansın kurulmasıyla bağdaştırmaktadır. Halkla ilişkilerin babası olarak kabul edilen Ivy Lee'nin de aralarında olduğu bir grup eski

gazeteci tarafından kurulan bu ajansa kadar halkla ilişkilerin profesyonel bir alan olarak tanınmadığına dair ortak görüşlerden söz edilebilmektedir. Tarihçi Eric Goldman'a (1948, akt. Brown, 2010) göre, ilk sanayii devrimini takip eden 1900'lerin başındaki ilerleme döneminin şirket karşıtı ve reform yanlısı tutumu, kâğıt maliyeti düştükçe tirajı önemli ölçüde artan gazetelere yansımıştır. 1903'ten 1909'a kadar birçok gazete ve dergide bazı şirketlerin halkı ve hissedarlarını nasıl kandırdığını, siyaseti nasıl yozlaştırdığını, maaş ve vergi sistemlerindeki yanlışlarını anlatan detaylı ve öfkeli makaleler yayınlanmıştır. Halk, şirketlere karşı kızgın ve eleştirel hale gelmiştir. Halkla ilişkiler bu dönemde sansasyonel ve aşırı eleştirel haber makalelerine karşı kurumsal çıkarları savunma görevini üstlenerek popülerlik kazanmıştır. 1906'da Ivy Lee, halkla ilişkiler faaliyetlerinin açık ve şeffaf olması, gerçekleri içermesi ve kamuyu ilgilendiren konuları kapsamaması gerektiğini söyleyen bir İlkeler Bildirgesi yayınlamış (Özgen ve Bilbil, 2007), bu bildirge halkla ilişkilerin, kamuoyunu yanıltmayı değil bilgilendirmeyi amaçlayan bir süreç olduğunu vurgulayan önemli bir başlangıç olmuştur.

Edward Bernays, 1920'lerdeki kuramsal çalışmaları nedeniyle yine bazı kaynaklar tarafından halkla ilişkilerin babası ve mesleğin ilk teorisyeni olarak anılmaktadır. Halkla ilişkiler üzerine ilk kitabı yazmış ve 1923'te New York Üniversitesi'nde ilk dersi vermiştir. Ancak Bernays'ın alana belki de en büyük katkısı bugün anladığımız anlamdaki halkla ilişkilerin en önemli özelliği olan iki-yönlü iletişim modelini halkla ilişkiler dünyasına tanıtmak olmuştur. Daha sonra Grunig ve Hunt (1984) tarafından "iki yönlü asimetrik model" olarak isimlendirilecek olan bu halkla ilişkiler modeli, iki yönlü ikna edici iletişimi savunmuştur. Kilit paydaşların tutum ve eylemlerini etkilemek için ikna edici iletişimi kullanmaktadır. Model hedef kitleleri tanımak, tutumlarını anlamak ve ikna etmek (bilgi, tutum ve davranış değişiklikleri yaratmak) için araştırma tekniklerini kullanmakta ve bu amaçla kaynak ve alıcı arasındaki ileri geri iletişimi düzenlemektedir. Halkla ilişkilerin önemli kuramcılarında olan Grunig daha sonra "iki yönlü simetrik model"i sunarak alana büyük bir katkıda bulunmuştur. Kuramcı halkla ilişkiler uygulamalarının ne olabileceğini ve ne olması gerektiğini yeniden tanımlayan normatif bir halkla ilişkiler pratiği kavramı sunduğu için bu modeli, teorik modellerin en gelişmişisi olarak önermiştir. Buna göre halkla ilişkiler Bernays'in (1952) adlandırdığı şekli ile ikna edici yönetim modeline değil gerek kurum gerekse halkları için adalet dengesi ile tanımlanan tamamen yeni bir modele göre yapılmalıdır. Bu model, bir kuruluş ile kilit paydaşları arasında karşılıklı olarak yararlı ilişkiler yaratan ve sürdüren diyaloga odaklanmaktadır (Brown, 2010). Halkla ilişkilerin tarihsel gelişimi bugünkü modern yaklaşımın oluşmasında önemli etkiye sahiptir. 20. Yüzyılın başında medya ilişkileri ile doğan ve gelişen, daha sonra sırasıyla kamuoyunu bilgilendirmeye ve farklı bilimsel ikna yöntemlerine odaklanan halkla ilişkiler bugün sadece ikna etme değil, kurum ve paydaşları arasında anlamlı ilişkiler, güven ve bağ kurma amacı gütmektedir. Bugünün halkla ilişkiler anlayışında uygulayıcılar müzakerecilerdir. İletişim, yalnızca bir şirket için değil ilgili tüm tarafların yani tüm sosyal paydaşların faydalanması için kullanılmaktadır. Bugün Amerika Halkla İlişkiler Derneği (PRSA) terimi "kuruluşlar ve halkları arasında karşılıklı yarar sağlayan ilişkiler kuran stratejik bir iletişim süreci" olarak tanımlamaktadır (PRSSA, t.y.).

Sanayii devrimleri ve takip eden teknolojik gelişmeler üretimin artmasına ve yaygınlaşmasına yol açmış, arz talep arasındaki dengenin ters yönde değişmesi yeni bilgi ekonomisinin oluşmasında rol oynamıştır. Bilgi ekonomisi tüm sektörleri

etkilediği gibi halkla ilişkiler alanını da etkilemektedir. Bilginin değerinin artması, 1980'lerde kişisel bilgisayarların sayısının artması ile dijital verinin oluşmasına neden olmuş sonrasında 2000 yıllardan sonra internetin yaygınlaşması ve hızlanmasıyla yeni nesil bir yaklaşıma dönüşmüştür. Üretim yerini teknoloji ve bilgiye bıraktığı yeni nesil "nokta.com" şirketleri olarak da bilinen, fikri ve mülki hakları dijital ürünler olan şirketler tüm iş dünyasında ciddi bir dönüşüm yaşatmıştır (Ljungqvist ve Wilhelm Jr, 2003). Tuğlalardan ve fiziksel fabrikalardan oluşan ekonomi yerini dijital verilerden ve bilgisayarlardaki kliklerden oluşan yeni ekonomiye bırakmıştır (Kacen et al., 2013). Şirketlerin internet üzerinden satışları ve müşteri iletişimleri bu yaklaşıma göre şekillenmiştir (Ofek et al., 2011). Bu değişim o kadar büyük ve etkili olmuştur ki eski ekonominin liderleri ve kural koyucuları günümüzde sunucular ve bilgi sistemlerinden oluşan büyük ölçekli KOBİ seviyesindeki şirketlerin piyasa değerlerinin altına düşmüştür. 2000'li yıllarda en büyük piyasa değerine sahip olan petrol ve finans şirketleri yerlerini bilgi odaklı şirketlere bırakmışlardır. Bunun en dikkat çeken örneği John D. Rockefeller tarafından 1870'lerde kurulan, sonrasında Exxon Mobil'a dönüşen Standard Oil isimli şirketin 138.9 milyar dolarlık piyasa değerinin bir online video konferans şirketi olan Zoom Video tarafından 139 milyar dolarlık piyasa değeri ile geçilmesi olmuştur (Fox, 2021). Bu durum anonimleşmiş olan "Veri, yeni petroldür" ifadesinin neden doğru olduğunun bir örneğidir (Hirsch, 2013).

Verinin önemli stratejik bir kaynak haline gelmesi 1900'lü yıllardan itibaren şirketlerin ve dünya politikasının petrole ve petrol ürünlerine dayalı üretim, imalat ve enerji üretimi süreçlerinde değişime yol açmıştır. Dijital bir varlık olan veri, petrol gibi fiziksel bir varlıktan yapısal olarak farklıdır ancak kavramsal olarak birçok benzerlik içermektedir. Ham petrol yeraltında olduğu sürece çok kıymetli değildir, uygun bir yöntemle çıkarıldığında ve sonrasında işlenerek farklı alt ürünlere dönüştüğünde ekonomik değeri artmaktadır. Bu alt ürünlerin hepsi aynı ekonomik değere sahip değildir. En kıymetli olanlar saflaştırma sonucu ortaya çıkan uçucu gazlar, uçak yakıtları, benzin ve solventlerdir. Sonrasında üretilen hantal karbon moleküllerinden oluşan asfalt zift gibi ürünlerin değeri göreceli olarak çok daha düşüktür.

Benzer şekilde veri de bilgiye; yani işlenmiş ekonomik değere dönüştüğünde ekonomik değeri ve etkisi artmaktadır (Kim, 2001). Petrolden farklı olarak veri basitçe ve dünyanın her yerinde aynı yöntemlerle saflaştırılıp anlaşılamaz; her veri kaynağı ya da veri seti tek başına bilgiye dönüşmek için yeterli de olmayabilir. Büyük, gizli ve ham veri gruplarını birer faydalı bilgiye dönüştürme ve sonrasında analizlerini yapma işlemi, otomatik olarak programlar ve teknikler ile yapılmakta ve teknolojinin de verdiği yetkiye dayanarak pek çok alana fayda sağlamaktadır (Taşçı ve Şamlı, 2020, s.89). Veriler birleştikçe, istatistik, veri madenciliği, yapay zekâ, makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi güncel işleme teknikleri ile anlamlı hale getirildiğinde ekonomik değeri artmaktadır. Özetle veri dünyanın yeni iş yapma ve yürütme stratejilerini şekillendirmiştir. Teknik olarak doğru hammadde tedariki süreçlerinden başlayan, tam zamanında doğru yerde üretim, doğru fiyatlandırma ve doğru dağıtım artık kurumların ne varlığını ne de kârlılığını garantilemektedir. Kurumlar hedef kitlelerinin istek, ihtiyaç ve beklentilerini araştırmalar yoluyla tespit etmeli, rakiplerinden farklı ürün, hizmet ve deneyimler sunmalıdır. Buna ek olarak bireylerin istek ve ihtiyaçları ile toplumun iyiliği ve refahı arasında bir denge bulmalı, arzu ve ihtiyaçlara cevap verirken

toplumun beklentilerini de göz önünde bulundurulmalıdır. Kurumların ürün ve hizmetlerinin nicel olarak üstün olması pazarda iyi bir oyuncu olmaları için artık yetersizdir; halkla ilişkiler hizmetlerinde önemli bir boyut olarak konumlanan ve kurumların daha fazla değer sağladığı algısını güçlendiren kurumsal itibar çok çeşitli akademik disiplinlerin ilgisini de çekmiş ve büyüyen bir odak noktası haline gelmiştir (Barnett et al., 2006; Chun, 2005; Gotsi ve Wilson, 2001). Halkla ilişkiler ajanslarının ve uzmanların üstlendiği iş ve görevler yeni nesil iş anlayışlarıyla birlikte artmakta ve çeşitlenmektedir. Günümüzde halkla ilişkiler çalışmaları yeni nesil iş çevreleri ve ekonomik koşullar içerisinde şirketlerin var oluş nedenleri, kurum kültürü, felsefesi; ürün, hizmet ve faaliyetleri ile ilgili kamuoyunu bilgilendirme, tutum ve davranış değiştirme, farkındalık ve algıda seçicilik amaçlı çalışmalar, sevilen, güvenilen bir marka olmak için sosyal sorumluluk faaliyetleri, pazarlama amaçlı halkla ilişkiler ve sosyal medya yönetimi, şirketin hedefleri, vizyon ve misyonuna göre hedef kitlelerin ve paydaşların beklentilerine uyumlu her türlü faaliyetin tanımlanması ve yürütülmesine yönelik basılı, görsel ve dijital faaliyetleri içermektedir (Newsom et al., 2012). Tüm halkla ilişkiler çalışmaları için bilgiye dayalı süreçler tanımlamak ve sürdürmek iş süreçlerinin önemli bir parçasıdır (Kioussis et al., 2007).

Halkla ilişkiler ajanslarının, hizmet verdikleri şirketlerin hedef kitlelerini oluşturan bireyler artık kurumların kendileriyle kurdukları iletişimde pasif, sadece gönderilen mesajları alan ve buna göre hareket eden kişiler olmaktan çıkmış, her türlü veriyi takip eden aynı zamanda kendi verisini üreten kaynaklar haline gelmiştir. Bu bireyler dijital iletişim kanallarını, ürünler ve servisler hakkında verileden daha fazla bilgi almak için kullanmaktadırlar. Üstelik bireylerin ulaşabildikleri şirketlerin sadece hangi ihtiyaca ne tür bir ürün ya da servisle cevap verdikleri bilgisini değil; ürünler ilgili teknik bilgiler, karşılaştırmalı yorumlar, beğeniler ve şikayetlere göre diğer tüketicileri ne kadar tatmin edip etmediği, yasal ya da ahlaki olmayan faaliyetlerde bulunup bulunmadığı; kendisine, ailesine, çevresine ve içinde yaşadığı topluma başka şekillerde de hizmet edip etmediğini kapsamaktadır (Baygül Özpınar, 2015). Ürün ve hizmetler arasındaki rekabet, bireylerin özellikle dijital hizmet ve ürünleri çok hızlı değiştirebilmesi, bir ürün ve hizmetten diğerine kolaylıkla transfer olmasına neden olmakta, benzer ürün ve hizmetlerde, seçme kriterine yeni boyutlar eklemektedir (Whitten ve Leidner, 2006). Dolayısı ile yeni iletişim teknolojileri kurumlar tarafından ne kadar erken ve hızlı uygulanırsa o kadar büyük rekabetçi avantaj sağlamaktadır. (Baygül Özpınar, 2021.)

Günümüzde üretilen veri artık sayılar ile ifade edildiğine içerdiği sıfırlar ve büyüklükleri nedeni ile anlaması zor terimler ile ifade edilmektedir. Bilgi teknolojileri dünyasının veri boyutu olan ve sekiz bitin bir araya gelerek oluşturduğu en temel veri bileşeni olan byte kavramından on üzeri onsekiz byte anlamına gelen exabyte yada matematiksel olarak kentilyon (quintillion) olarak tanımlanan sosyal medyadaki her paylaşım ve beğeniden, GSM şirketlerinin görüşme ve konum bilgisi kayıtlarına, uzayda kendi başına yol almakta Voyager uzay aracının verilerine kadar birçok farklı veriyi içermektedir. Bu veriler yaklaşık 2.5 exabyte seviyesine ulaşmıştır (Bulao, 2021). Nesnelerin interneti, giyilebilir sensörler, online platformlar üzerinde her insan yada halkla ilişkiler anlamında hedef kitle günlük ortalama 1.7 Megabyte veri üretmektedir.

Bu boyutta üretilen veriler geleneksel kurum içi veri saklama ve işleme sistemleri ile yönetilemeyecek kadar büyümüş, saklamak ve işleme için özel donanım, yazılım ve süreçlere



ihtiyaç duyar hale gelmiştir. 2000'li yıllarda sadece ilişkisel verilerden oluşan düzenli verilerin oluşturduğu veri ambarlarından günümüzde ilişkisel, nesne tabanlı, yapılandırılmış, yarı yapılandırılmış veri göllerine dönüşmüştür. Artık her türlü verinin şirketlerin yönetsel süreçlerinde kullanıldığı bir yapıya kavuşmuştur. (Baars ve Kemper, 2008) Büyük veri, genel olarak 5V olarak da bilinen beş boyuttan oluşmaktadır. Bunlar çeşitlilik (variety) , hız (velocity), hacim (volume), doğruluk (veracity) ve değer (value) olarak tanımlanmaktadır (Demchenko et al., 2014; Zhang et al., 2017). Büyük veri kavramı ilk konuşulmaya başladığı ve sanallaştırma sistemlerinin bulut bilişim kavramının temellerine attığı 2010 yılından sonra gelişmiştir. Büyük veri, neredeyse her dijital dönüşümün merkezinde kabul edilmeye başlanmış kuruluşlar, bireyler, işletmeler, topluluklar ve hükümetler için çok önemli olduğu vurgulanmıştır. (Manyika et al., 2011) Ancak verinin kim için ne ifade ettiği ve kullanıldığı konusu kavramsal modelin ötesinde uygulama hemen geçememiştir. Hatta ilk yıllar tamamen teknik olarak ele alınmış olan büyük veri kavramı sektördeki teknoloji firmaları tarafından donanımsal altyapı olarak konumlandırılmıştır. IBM firması büyük veri ile ilgili yaptığı çalışmalarda büyük veriyi değer (value) kavramı olmadan 4V olarak tanımlamıştır. (Wang, 2014) İlerleyen yılları içerisinde sadece verinin dijital bir varlık olmasının yeterli olmadığı bu varlığın değerinin de önemli olduğu ortaya çıkmış ve büyük veri günümüzde 5V olarak tanımlanır hale gelmiştir. Büyük veri ve bu verinin işlendiği tutulduğu bulut bilişim kavramları hayatımızın her aşamasında konumlanır hale gelmiştir.

Halkla ilişkiler konusu da teknolojinin ve verinin önlenemez yükselişi ve yeni nesil iş yapma modelleri sonucunda yeni nesil 5V verilerini kullanabilecek bir yapılanma ihtiyacı ile karşı karşıya kalmıştır. Dolayısı ile büyük veri tüm diğer alanlarda olduğu gibi halkla ilişkiler alanında da süreçleri ve stratejileri değişime uğratmıştır (Mark Weiner, 2016).

Geleneksel anlamda sınırlı veri ile iletişim süreçlerini planlanması, uygulanması ve kontrolü yeni bir konu değildir (Johnson, 1997). Ancak gerek kişisel verilerin korunması ile ilgili düzenlemeler ve bireylerin tercihleri, siber güvenlik yaklaşımları verilerden bilgi üretilmesi, büyük verinin halkla ilişkiler süreçlerinde kullanılması, tüm bu değişim ve gereksinimleri optimize ederek ekosistemdeki tüm paydaşlar için ergonomik ve kullanılabilir olmasını sağlamak zorlu ve karmaşık bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır (Wiencierz ve Röttger, 2019).

Halkla ilişkiler ve kurumsal iletişim ajanslarındaki veriler genel olarak öz kaynaklar ile üretilmiş olan pazarlama iletişimi faaliyetleri verileri, iç iletişim verileri ve şirketin kendi iletişim kanallarından oluşan geri bildirimler, kamuya açık paylaşımlı veriler, deneysel pazarlama verileri, etkinlik ve sponsorluklardan kaynaklanan halkla ilişkiler verilerinden oluşmaktadır. Bu veriler birçok halka ilişkiler şirketinin en önemli varlıkları arasındadır. Bu verilere ek olarak haber kanallarından, sosyal medyadan ve rakiplerin pazarlama ve tanıtım faaliyetlerinden gelen veriler de bulunmaktadır (Mark Weiner, 2016). Özellikle sosyal medya üzerinden yapılan tanıtım, pazarlama ve halkla ilişkiler kampanyalarının teknolojik olarak izlenebilir ve elde edilebilir olması sonucu daha doğru ve konumlandırılmış veriler ve istatistikler alınabilmektedir (Wright ve Hinson, 2008). Bu veriler hedef kitlelerin davranış ve tercihlerinin analizinde kullanılabileceği gibi bilgi, tutum ve davranışlarda değişiklik yaratma, farkındalığı artırma, kurumsal sosyal sorumluluk faaliyetleri, kriz yönetimi, imaj yönetimi, itibar yönetimi, sosyal

medya yönetimi vb. alanlarda halkla ilişkiler stratejileri geliştirmek için kullanılabilir. (Stacks, 2016)

Halkla ilişkiler çalışmalarında sadece bir piyasa ve ürün ile ilgili çoğunlukla nicel, kategorik verilerden oluşan anket veya içerik analizi yapıldığında neler olduğuna dair bir gözlem raporu oluşturulabilir. Bu gözlemlerin tesadüfen mi meydana geldiği, müşteri kitlesindeki farklılıklardan mı ortaya çıktığı yada araştırmaya konu olan bir hipotezin doğruluğu sonucu mu olduğu ise çıkarımsal istatistik ile incelenebilmektedir (Stacks, 2016) Çıkarımsal istatistikler kalıpları, korelasyonları veya eğilimleri ortaya koyarak halkla ilişkiler stratejilerinin oluşturulmasında kullanılabilir (Jugenheimer et al., 2015; Stacks, 2016)

Bu kadar veri odaklı bir topluma dönüşürken verilerin kişiselliği ve güvenliği de önemli bir kavram haline gelmiştir. Bireyler artık kişisel verilerinin korunması konusunda daha bilinçli ve duyarlı hale gelmeye başlamıştır. Özellikle sosyal medya ve ücretsiz haberleşme uygulamalarının arka planda veri toplamaya çalışması, bu veriler ile ilgili bazı ticari faaliyetlerde bulunması yönündeki politika değişiklikleri bu hizmeti sunan firmaların pazardaki paylarının bile oynamasına neden olmaya başlamıştır. 2021 yılında Facebook firması çatısı altında faaliyet gösteren WhatsApp anlık haberleşme uygulamasının veri işleme politikalarında düzenleme yapacağını açıklaması ve kullanıcıların buna tepkisi iyi bir örnek olarak gösterilebilir (Wijoyo et al., 2021). Sonraki günlerde alternatif uygulamalar ile yapılan veri kullanım karşılaştırmaları uzun sürecek bir bakış açısı farklılıklarının ve kişisel veri güvenliğinin önemini ortaya koymuştur (Sindermann et al., 2021).

Elde edilen verilerin saklanması, korunması, sadece verinin sahibi ve yetki verdiği taraflarca görünmesi, kullanılması, değiştirilmesi, işlenmesi kavramlarını içeren veri yönetimi kavramı da bu süreçler ile birlikte gelişmekte ve bu konuda birçok çalışma yapılmaktadır (Alhassan et al., 2016; Khatri & Brown, 2010; Ladley, 2019). Veri yönetimi içerisindeki önemli başlıkları veriye dijital ve fiziksel olarak erişmek ile ilgili oluşturulmuştur. Bu kapsamda yapılan çalışmalar özellikle sağlık, askeri ve ticari şirket verilerinin yönetimi ile ilgili yapılmaktadır (Rosenbaum, 2010). Yönetim süreçleri ile ilgili çeşitli kavramsal çerçevelerde bu süreçlere paralel olarak geliştirilmektedir (Abraham et al., 2019).

Güvenilir iletişim, veri paylaşımı ve veri taşınması ile ilgili çalışmalar 1980'lere dayanmaktadır. (Shamir et al., 1981; Yao, 1986). Geliştirilmeye başlanan farklı protokoller o yıllar için çok temel ve kavramsal olsa da günümüzdeki büyük ve bulut bilişim platformları ile ilgili veri paylaşım ortamları için kaynak teşkil etmektedir (Yao, 1982).

Veri paylaşımı, halkla ilişkiler alanında karşılaşılan iş zorluklarını çözmek ve kurumsal hedeflere ulaşmak için daha sağlam veriler oluşturarak, kurum ve kampanya amaçları ile daha yakından ilgili verileri optimize etmenin bir yoludur. Bilim ve araştırma için parasal yatırımın azaldığı dönemlerde veri paylaşımı araştırmacıların kaynakları paylaşmasına olanak tanıyarak verimliliği artırabilir. Halkla ilişkiler ve kurumsal iletişim ajansları kendi aralarında, hizmet verdikleri şirketlerle aralarında ya da farklı aracı kuruluşlarla veri paylaşımı yapabilirler. Veri paylaşımı, uzmanlar arasında daha güçlü bağlantıları ve işbirliğini teşvik etmekte; bu da halkla ilişkiler alanında önemli yeni bulgulara, daha etkili iş sonuçlarına yol açabilmektedir. Goasduff (2021) kurumlar arası veri paylaşımının, etkin paydaş katılımını ve kurumsal değer



sağlamanın işle ilgili önemli bir performans göstergesi olduğunu bildirmekte; 2023 yılına kadar veri paylaşımını destekleyen kuruluşların iş sonuçları ölçümünde emsallerinden daha iyi performans göstereceğini tahmin etmektedir.

### 3. Malzeme ve Yöntem

#### 3.1. Veri Seti ve Problem Tanımı

Halkla İlişkiler şirketlerinin veri analizi ve işleme ile ilgili oluşturulan üç senaryoya uygun olarak modüller entegre edilmiştir. Entegre edilen modüller geliştirmeye açık ve uygun kullanıcı ara yüzleri ile zenginleştirilecek şekilde modellenmiştir. İlk senaryo Çok Taraflı Hesaplama başlığında, ikinci ve üçüncü senaryolar ise Homomorfik Şifreleme başlığında makine öğrenmesiyle birlikte ele alınmıştır.

Testlerde kullanmak için kullanılan veri seti birçok makine öğrenmesi probleminde örnek olarak kullanılan telekom şirketlerinin churn müşteri sadakat analizi veri setidir (Jafari-Marandi et al., 2020). Bu veri seti ile ilgili birçok karşılaştırmalı analiz hali hazırda yapılmış ve yapısal olarak iyi bir veri seti olduğu kabul edilmiştir hatta demo veri seti olarak makine öğrenmesi kütüphanelerine eklenmiştir (Vafeiadis et al., 2015).

3150 kayıttan oluşan veri seti hayali olarak üç rastgele dengeli bölüme ayrılmış ve hayali olarak bu verilerin A, B ve C halkla ilişkiler şirketinin elindeki anket ve analiz verileri olduğu varsayılmıştır. Sektördeki bu üç hayali şirketin ellerindeki verileri birbirleri ile doğrudan açık bir şekilde paylaşmadan analiz edebilecekleri bir senaryo ile bu halkla ilişkiler şirketlerinden yeni çıkaracakları bir ürün ile ilgili en uygun portföye ve analiz verilerine sahip şirketi seçecek bir hizmet almak isteyen telekom operatörünün makine öğrenmesi sınıflandırma ve segmentasyon ihtiyacına verileri şifreli bir şekilde işleyebileceği bir senaryo düşünülmüştür. Veri işleme senaryosunda kNN ve karar destek ağaçları algoritmalarının kullanılacağı varsayılmıştır.

#### 3.2. Çok Taraflı Hesaplama

Güvenli Çok Taraflı Hesaplama (Secure Multi Party Computation) ya da Mahremiyeti Koruyan Hesaplama (Privacy Preserving Calculation) yaklaşımları iletişim araçlarının artması ve ortak veri işleme ihtiyaçlarının artmasıyla birlikte öne çıkmaktadır. Temel olarak hesaplama yapacak olan paydaşların, hesaplamalarda kullanılacak olan veri setlerini ve verileri bir fonksiyon üzerinde paylaşmaları sistematiğine dayanmaktadır. Taraflar verilerin kimden ve hangi seviyede geldiğini bilmeden temel matematiksel hesapları yapabilmektedirler. Verilerin fonksiyonlar üzerinden paylaşılması tüm tarafların kullanabileceği bir şifreleme sistemi ile de korunabilir.

Bilgi teknolojileri alanındaki birçok çalışmanın temelinde uygulama ve test etmesi kolay olduğu ve risk içermediği için kullanılan oyun ve simülasyonlar üzerinden konuşulmaya başlanmıştır. 1970'lerdeki uzak mesafedeki iki paydaşın güvenli bir şekilde bir kart oyunu oynayabilmelerini kurgulayan güvenli poker oynama algoritması bu konudaki ilk çalışma olarak kabul edilebilir (Shamir et al., 1981). Sonrasında bilgisayar sistemlerinin ortak hesaplama yapmasını modelleyen çalışmalar ile gelişmeye devam etmiştir (Yao, 1982, 1986). Bu algoritmaların tüm tarafların dürüst hareket ettiği ve kötü niyetli bir şekilde sistemin zaafiyetlerini kullanarak sisteme saldırmayacakları üzerine kurulmuştur ve yapılan protokol güncellemeleri ile belli bir seviyeye kadar birden fazla kullanıcının birlikte hareket etmesi veya kullanıcı hataları sonucu

ortaya çıkabilecek açıkları tolere edebilmesine dayanmaktadır (Dolev et al., 1993). Günümüzde geliştirilmiş olan temel paylaşım şemaları bu sorunları ortadan kaldıran güncel şemaların oluşmasını sağlamıştır (Goldreich et al., 2019).

Çok taraflı hesaplama sistemlerinde sistemin güvenliği veri aktarımında kullanılan fonksiyonların seviyeleri arttığında gerekli olan hesaplama işlemlerinin ihtiyaç duyduğu yüksek işlemci gücü nedeni ile uzun yıllar boyunca verimsiz ve kullanmanın pratik olmadığı uygulamalar olarak tanımlanmasına neden olmuştur. Ancak sonraki yıllarda yapılan geliştirme ve çalışmalar verimli algoritmalar oluşmasını sağlamış bu algoritmaların da bulut bilişim gibi ortamlarda kullanılabilmesi ile son kullanıcı tarafından kullanılabilmesine imkân sağlamıştır (Abascal et al., 2020).

Sonraki yıllarda dağıtılmış oylama, özel teklif verme ve açık artırmalar, müzayede satışları (Dinakaran, n.d.), imza paylaşımı gibi uygulamalarda başarı ile kullanılmıştır (Bendlin et al., 2011).

#### 3.3. Homomorfik Şifreleme

Şifreleme ile ilgili çalışmalar matematiksel yaklaşımlarıyla birlikte pratik olarak veri gizliliğinin en önemli olduğu askeri sistemlerde kullanılmış ve gelişmiştir (Shannon, 1949). Alan Turing'in ikinci dünya savaşından Alman silahlı kuvvetleri tarafından şifreli haberleşme amacı ile kullanılan Enigma cihazının şifresini kırmasıyla birlikte savaş sonrası dönemlerde şifreleme ve güvenli veri iletimi önemli bir sürece girmiştir. (Turing, 2004) Temel olarak şifreleme, düz metni koda veya okunamayan metin biçimine dönüştürmek için uygulanan algoritmaları ifade etmektedir (Goldwasser ve Micali, 1984). Düz metnin şifrenmesi ve sonrasında şifrenmiş metnin alıcısı tarafından çözülmesi için kullanılan "anahtar" yapıları ve algoritmalarına göre yıllar içerisinde gelişmeye devam etmiştir (Biham ve Shamir, 1991). Günümüzde çalışmalar daha çok sistemlerin güvenliğini yüksek hesaplama gücüne sahip kuantum bilgisayarların yaygınlaşması sonrasında nasıl korunacağı ile ilgili süreçlerle ve verilerin bulut sistemleri üzerinde güvenli olarak işlenebilmesine odaklanmıştır (L. Chen et al., 2016).

Bulut hizmetlerinin kullanmanın olası dezavantajlarının başında herhangi bir saldırı ve ihlal olduğunda ele geçen verilere ait mahremiyet kayıpları ve gizli verilerin ticari değeridir. Bu sorunlarla başa çıkmanın pratik bir yöntemi, bulutta depolanan tüm verileri şifrelemek ve şifrenmiş veriler üzerinde matematiksel işlemler gerçekleştirmektir. Şifre çözme yapıldığında şifrenmiş sonuç aynı kalacaktır. Bu amaçla geliştirilen şifrenmiş veriler üzerine işlem yapabilen homomorfik şifreleme algoritmaları, temel olarak uygun bir şema seçimi ile kurulum, gizli anahtar, genel anahtar, yeniden doğrusalştırma anahtarı gibi anahtar oluşturma işlemleri, şifreleme, değerlendirme aşamalarından oluşmaktadır (Bozduman ve Afacan, 2020).

Homomorfik şifreleme, şifreli metinlerde hesaplama yapılmasına olanak sağlayan ve şifresi çözüldüğünde düz metin üzerinde yapılmış gibi işlemlerin sonucuyla eşleşen şifreli bir sonuç üreten bir şifreleme yöntemidir. Basit Şifreli Aritmetik Kitaplığı SEAL, Microsoft tarafından geliştirilmiş homomorfik bir şifreleme kitaplığıdır. (H. Chen et al., 2017) The Brakerski/Fan-Vercauteren BFV (Fan ve Vercauteren, 2012) ve Cheon, Kim, Kim ve Song CKKS (Cheon et al., 2017) gibi çok başka özelliklere sahip iki farklı homomorfik şifreleme şemasıyla birlikte gelmektedir. BFV şeması, şifrenmiş veriler üzerinde modüler aritmetik yapılmasına izin verirken CKKS şeması,

şifrelenmiş gerçek veya karmaşık sayılar üzerinde toplamlara ve çarpımlara izin verir, ancak yalnızca yaklaşık sonuçlar vermektedir (Mert et al., 2019).

## 4. Bulut Tabanlı Güvenli Çok Taraflı Hesaplama ve İş Birliği Servisi – SMPCCaaS

Kavramsal, mantıksal ve fiziksel modeli oluşturulan servisin bulut bilişim üzerinde konumlandırılması, self servis, esnek ölçeklendirme ve kullandıkça öde yaklaşımı ile çalışması hedeflenmiştir. Seçilen teknolojiler açık kaynak kodlu ek lisans maliyeti gerektirmeyen yazılım ve kütüphanelerden oluşturulmuş aynı zamanda uygulama repoları ile güncel kalmasını sağlamıştır.

Tanımlanan iş modeli içerisinde şirketlerin kendi şifreleme anahtarları ile verileri şifreleyip bulut servislerine aktarabilmeleri, bu veriler üzerinden şifreli işlem yapacak olan hizmet alacak firmaların test verisetlerini açık olarak sisteme yükledikten sonra ilgilenen firmaların bu veri setlerini kendi müşteri verileri ile karşılaştırma yapabilecekleri bir akış kurgulanmıştır. Aynı şekilde anahtar üretilmesi ve saklanması hizmetini bulut servisi kapsamında alabilecekleri bir akış da kurgulanmıştır. Teknik olarak bulut servisini verecek olan hizmet sağlayıcı ve halkla ilişkiler şirketleri arasında imzalanacak olan NDA gizlilik anlaşması kapsamında bu hizmetlerin kapsamı belirlenmesi, SLA hizmet seviyesi anlaşması ile de servisin hizmet kapsamının belirlenmesi yapılacaktır.

Sistemdeki kodların geliştirilmesi Python kullanılmıştır. Ana geliştirmeler ve testler için Google Colab ücretsiz versiyon kullanılmıştır. Yaygınlaştırma için sonrasında bulut bilişimdeki sanal makineye kurulum yapılmıştır (Google, 2021).

### 4.1. Sanal Makine Altyapısı

Uygulamanın bulut bilişim üzerinde esnek ve ölçeklenebilir olarak çalışması için sanal makineler üzerine kurulum yapılmıştır. Bu açıdan Microsoft, Amazon, Google, Alibaba, IBM gibi şirketlerin benzer hizmetleri bulunmaktadır. İhtiyaç duyulan Python altyapısı marka bağımlılığı olmadan kullanılabilirliğinden farklı bir servis ile de çözüm üretilebilir. Mevcut sistemde geliştirilen kodlar öncelikle Amazon EC2 bulut sunucusuna aktarılmıştır. Amazon Web Services (AWS) altyapısında uygulamaları çalıştırmak için Amazon'un Elastic Compute Cloud'unda (EC2) bulunan bir sanal sunucudur. Pratik olarak sınırsız sayıda sanal makine (VM) olarak hizmet edebileceğinden ölçeklenebilir olması sağlanmıştır. (Amazon, 2021) Yapılan geliştirme ve modüller farklı sektörel uygulamalar için de kullanılabilir.

### 4.2. Çok Taraflı Hesaplama Modülü

Uygulama senaryoları olarak halkla ilişkiler şirketlerinin ellerindeki verileri ortak istatistiksel hesaplamalar yapabilecekleri çok taraflı hesaplama modülü MPyC for Secure Multiparty Computation kütüphanesi entegre edilmiştir (Schoenmakers, 2021). Senaryo çalışmalarına göre sektörel olarak A, B ve C firmalarının ellerindeki verileri sistem üzerinden paylaşarak müşteri şikayetleri, arama sırasındaki sistemsel hatalar, abonelik süreleri, ortalama fatura ve ücretlendirme miktarları, fatura tipleri, arama sıklıkları, müşterinin karlılığı, yaş grubu, SMS, hizmet kullanımları ve müşterinin şikayetler sonucunda firmadan vazgeçmesi (churn) gibi veriler matematiksel olarak ortalamalar

alınmıştır. Sistem üzerinde girilen veriler ile ortalama, medyan, varyans ve standart sapma gibi temel istatistiksel analizler yapılabilmektedir.

### 4.3. Güvenli Eşleştirme Modülü

TenSEAL: A Library for Encrypted Tensor Operations Using Homomorphic Encryption kütüphanesi Python ile geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir kütüphanedir (Benaissa et al., 2021) TENSEAL, Microsoft SEAL üzerine inşa edilmiş, tensörler üzerinde homomorfik şifreleme işlemleri gerçekleştirmek için bir kitaplıktır. (H. Chen et al., 2017) İşlemlerinin çoğunu C++ kullanarak uygulayarak performansı korurken, bir Python API aracılığıyla kullanım kolaylığı sağlar (Halevi et al., 2019).

Müşteri havuzlarındaki hizmet almak isteyen şirketlerin ellerindeki hedef kitleye yakın kitleler ile ilgili yapılacak halkla ilişkiler faaliyetleri için benzer veri setlerindeki müşteri verilerinin analizinde kullanılması hedeflenmiştir. Müşteri veri vektörlerindeki vektörel uzaklıkların kullanılması hedeflenmiştir. TenSEAL kütüphanesi vektör çarpımları ve Öklid vektör uzaklıklarının hesaplanmasında kullanılmak üzere entegre edilmiştir. Hizmet almak isteyen firmalar hedef müşteri vektörlerini sisteme yükleyerek benzer veriye ve hizmete sahip halkla ilişkiler şirketlerinin verilerinin analizi yapabilecek ve bu analizlere göre faaliyet planlaması yapabileceklerdir.

### 3.3. Güvenli Makine Öğrenmesi Modülü

Hedef kitle müşterileri ile ilgili yapılacak olan sınıflandırma ve segmentasyon analizleri için makine öğrenmesi algoritmaları kullanılması düşünülmüştür. Homomorfik şifreleme güvenli ama hesaplama olarak her matematiksel hesaba uygun olmadığından temel sınıflandırma algoritmaları tercih edilmiştir. Burada halkla ilişkiler firmalarının veri setlerinin karmaşıklığından çok güvenli işlenmesi gereken kişisel veriler ve ticari bilgi varlıkları olmasından dolayı yöntemler zaten iyi sonuçlar verdiği literatürdeki örneklerde bulunmaktadır (Alawaad, 2021; Biswal, 2020). Bu amaçla kNN gibi vektör uzaklıklarına dayalı hesaplamalar için TenSEAL ve karar ağaçları uygulamaları için ise Cryptotree (Huynh, 2020) kütüphanesini kullanmaktadır.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Veri, stratejik iletişimin etkilerine dair yeni anlayışlar sağladığı için, kurumlar her tür veriyi kurumsal iletişimlerini geliştirmek için kullanabilirler. Kurumlar için neyin önemli olduğunu bilmek ve önemli olanı ölçmek; büyük veriyi karar mekanizmalarında kullanmak üzere dönüştürebilmek ve veri paylaşımı şirketlerin gelecekteki iletişim süreçleri için önceliklidir. Daha önceleri yüz yüze toplantılar, telefon görüşmeleri, taşınabilir cihazlar ya da e-mailler ile belli endişeler ile paylaşılan veriler, günümüzde paylaşılacak/kurumun kendisine saklanacak bilgiyi tanımlama imkanı ile sanal ortamda güvenli olarak paylaşılabilir. Veri paylaşımı bilgilerin paylaşılması ve anlaşılması için esas olmanın yanı sıra kurumlar arasında iki yönlü diyalog ve geri bildirim döngüsünün artırılmasına katkı sağlamaktadır. Araştırmalar için bütçeler kesildiğinde, veri paylaşımı, araştırmacıların ve uzmanların kaynakları bir araya getirmesine izin vererek üretkenliği artırabilir. Halkla ilişkiler ve kurumsal iletişim ajansları kendi aralarında; hizmet verdikleri kurumlarla veya etkinlik ajansları, medya ajansları ve reklam ajansları gibi çözüm ortaklarıyla çok taraflı veri paylaşımında bulunabilirler. Veri paylaşımı, halkla

ilişkiler alanında etkili sonuçlara ulaşmanın yanı sıra ajanslar ve uzmanlar arasında daha iş birliğini teşvik edebilmektedir.

Bu çalışmada yeni nesil halkla ilişkiler yaklaşımları çerçevesinden ajanslar ve uzmanlar tarafından ihtiyaç duyulan güvenli veri analizi, iş birliği ve ortak hesaplama yaklaşımlarına destek verecek bir bulut bilişim servisinin mimarisi ve yapısı anlatılmıştır. Önerilen sistem ticari olarak ön yüz ve kullanıcı dostu kod geliştirmelerine ihtiyaç duyan kavramın ispatı PoC kapsamında yapılmıştır. Veri güvenliği ve veri yönetişimi açısından saklanan ve işlenen verilerin gizliliğini, sorguların gizliliğini ve veri yapılarına doğrudan erişmeyi engelleyen bir yapıdadır. Yapılacak olan hesaplamalar halkla ilişkiler süreçlerindeki kampanya ve etkinlik dönemlerinde kullanılacağından anlık ve sürekli ihtiyaç oluşturmamaktadır. Bu nedenle homomorfik şifreleme ve güvenli çok taraflı hesaplama süreçlerinde en önemli sorunlardan biri olan hesaplamalarda ihtiyaç duyulan yüksek işlemci gücü ihtiyacı bulut bilişim servislerinde kullandıkça öde modeli içerisinde karşılanacak ve hizmetin servis olarak sunulması ilk yatırım ve işletme maliyetlerini en aza indirecektir. Sistem halkla ilişkiler ekosistemi içerisinde verinin değerinin hem müşteri hem de hizmet verenler açısından daha değerli bir varlık olarak kullanılması sağlanmaktadır.

İlerleyen zamanlarda hizmetin Topluluk Bulutu (community cloud) kapsamında Türkiye Halkla İlişkiler Derneği gibi meslek kuruluşları ile yerinde hizmet kapsamında (on premise) modeli ile konteyner mimarisi içerisinde sunulabilmesi hedeflenmiştir.

## Kaynakça

- Abascal, J., Faghihi Sereshgi, M. H., Hazay, C., Ishai, Y., ve Venkatasubramaniam, M. (2020). Is the Classical GMW Paradigm Practical? The Case of Non-Interactive Actively Secure 2PC. *Proceedings of the 2020 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, 1591–1605.
- Abraham, R., Schneider, J., ve vom Brocke, J. (2019). Data governance: A conceptual framework, structured review, and research agenda. *International Journal of Information Management*, 49, 424–438.  
<https://doi.org/10.1016/j.IJINFORMGT.2019.07.008>
- Alawaad, H. A. (2021). The role of Artificial Intelligence (AI) in Public Relations and Product Marketing in Modern Organizations. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(14), 3180–3187.
- Alhassan, I., Sammon, D., ve Daly, M. (2016). Data governance activities: an analysis of the literature. *Journal of Decision Systems*, 25(sup1), 64–75.
- Amazon. (2021). Amazon EC2. In *Amazon Web Services, Inc.*  
<https://aws.amazon.com/ec2/>
- Baars, H., ve Kemper, H.-G. (2008). Management support with structured and unstructured data—an integrated business intelligence framework. *Information Systems Management*, 25(2), 132–148.
- Barnett, M. L., Jermier, J. M., ve Lafferty, B. A. (2006). Corporate reputation: The definitional landscape. *Corporate Reputation Review*, 9(1), 26–38.
- Baygöl Özpınar, Ş. B. (2021). “Yeni” Teknolojiler ve Kurumsal İletişimin Yeni Araçları. *Etkileşim*, 7, 150–168.
- Baygöl Özpınar, Ş. B. (2018). Kurumsal itibarın ölçümü: Türkiye’ye yönelik ölçek geliştirme çalışması. Ed. Metin Reyhaoğlu, *Araştırmalar Işığında Yönetimde Güncel Konular*,

- 474–464. Nobel.
- Benaissa, A., Retiat, B., Cebere, B., ve Belfedhal, A. E. (2021). TenSEAL: A Library for Encrypted Tensor Operations Using Homomorphic Encryption. *ArXiv Preprint ArXiv:2104.03152*.
- Bendlin, R., Damgård, I., Orlandi, C., ve Zakarias, S. (2011). Semi-homomorphic encryption and multiparty computation. *Annual International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques*, 169–188.
- Biham, E., ve Shamir, A. (1991). Differential cryptanalysis of DES-like cryptosystems. *Journal of CRYPTOLOGY*, 4(1), 3–72.
- Biswal, S. K. (2020). The Space of Artificial Intelligence in Public Relations: The Way Forward. In *Optimization in Machine Learning and Applications* (pp. 169–176). Springer.
- Bozduman, H. Ç., ve Afacan, E. (2020). Simulation of a Homomorphic Encryption System. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 5(1), 479–484.  
<https://doi.org/10.2478/amns.2020.1.00046>
- Brown, R. E. (2010). Symmetry and its critics: Antecedents, prospects and implications for symmetry in a postsymmetry era. *The SAGE Handbook of Public Relations*, 277–92.
- Bulao, J. (2021). How Much Data Is Created Every Day in 2021? In *TechJury*. <https://techjury.net/blog/how-much-data-is-created-every-day/>
- Chen, H., Laine, K., ve Player, R. (2017). Simple encrypted arithmetic library-SEAL v2. 1. *International Conference on Financial Cryptography and Data Security*, 3–18.
- Chen, L., Chen, L., Jordan, S., Liu, Y.-K., Moody, D., Peralta, R., Perlner, R., ve Smith-Tone, D. (2016). *Report on post-quantum cryptography* (Vol. 12). US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology.
- Cheon, J. H., Kim, A., Kim, M., ve Song, Y. (2017). Homomorphic encryption for arithmetic of approximate numbers. *International Conference on the Theory and Application of Cryptology and Information Security*, 409–437.
- Chun, R. (2005). Corporate reputation: Meaning and measurement. *International Journal of Management Reviews*, 7(2), 91–109.
- Cutlip, Scott (1994). *The Unseen Power: A History of Public Relations*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Demchenko, Y., De Laat, C., ve Membrey, P. (2014). Defining architecture components of the Big Data Ecosystem. *2014 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, 104–112.
- Dinakaran, S. S. (n.d.). *An Overview on Secured Multi-Party Computations (SMC)*.
- Dolev, D., Dwork, C., Waarts, O., ve Yung, M. (1993). Perfectly secure message transmission. *Journal of the ACM (JACM)*, 40(1), 17–47.
- Fan, J., ve Vercauteren, F. (2012). Somewhat practical fully homomorphic encryption. *IACR Cryptol. EPrint Arch.*, 2012, 144.
- Fox, M. (2021). Zoom overtakes Exxon Mobil in market value amid COVID-19 pandemic. In *Business Insider*.  
<https://www.businessinsider.com/zoom-exxon-mobil-overtakes-market-value-stock-price-covid19-pandemic-2020-10>
- Goasduff, L. (2021). Data sharing is a business necessity to accelerate digital business.  
<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/data-sharing-is-a-business-necessity-to-accelerate-digital-business>



- Goldreich, O., Micali, S., ve Wigderson, A. (2019). How to play any mental game, or a completeness theorem for protocols with honest majority. In *Providing Sound Foundations for Cryptography: On the Work of Shafi Goldwasser and Silvio Micali* (pp. 307–328).
- Goldwasser, S., ve Micali, S. (1984). Probabilistic encryption. *Journal of Computer and System Sciences*, 28(2), 270–299.
- Google. (2021). *Google Colaboratory*. <https://colab.research.google.com/>
- Gotsi, M., ve Wilson, A. M. (2001). Corporate reputation: seeking a definition. *Corporate Communications: An International Journal*.
- Grunig, J. E., ve Grunig, L. A. (1992). Models of public relations and communication. *Excellence in Public Relations and Communication Management*, 1992, 285–325.
- Halevi, S., Polyakov, Y., ve Shoup, V. (2019). An improved RNS variant of the BFV homomorphic encryption scheme. *Cryptographers' Track at the RSA Conference*, 83–105.
- Harrison, G. (1953). Public Relations. *YB*, 65.
- Hirsch, D. D. (2013). The glass house effect: Big Data, the new oil, and the power of analogy. *Me. L. Rev.*, 66, 373.
- Huynh, D. (2020). Cryptotree: fast and accurate predictions on encrypted structured data. *ArXiv Preprint ArXiv:2006.08299*.
- Johnson, M. A. (1997). Public relations and technology: Practitioner perspectives. *Journal of Public Relations Research*, 9(3), 213–236.
- Jugenheimer, D. W., Kelley, L. D., Hudson, J., ve Bradley, S. (2015). *Advertising and public relations research*. Routledge.
- Kacen, J. J., Hess, J. D., ve Chiang, W. K. (2013). Bricks or clicks? Consumer attitudes toward traditional stores and online stores. *Global Economics and Management Review*, 18(1), 12–21.
- Khatri, V., ve Brown, C. V. (2010). Designing data governance. *Communications of the ACM*, 53(1), 148–152.
- Kim, Y. (2001). Measuring the economic value of public relations. *Journal of Public Relations Research*, 13(1), 3–26.
- Kiousis, S., Popescu, C., ve Mitrook, M. (2007). Understanding influence on corporate reputation: An examination of public relations efforts, media coverage, public opinion, and financial performance from an agenda-building and agenda-setting perspective. *Journal of Public Relations Research*, 19(2), 147–165.
- Ladley, J. (2019). *Data governance: How to design, deploy, and sustain an effective data governance program*. Academic Press.
- Laudon, K. C., ve Laudon, J. P. (2011). *Essentials of management information systems*.
- Ljungqvist, A., ve Wilhelm Jr, W. J. (2003). IPO pricing in the dot-com bubble. *The Journal of Finance*, 58(2), 723–752.
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., ve Hung Byers, A. (2011). *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*. McKinsey Global Institute.
- Mark Weiner, S. K. (2016). *Irreversible: The Public Relations Big Data Revolution*. Institute for Public Relations. [https://instituteforpr.org/wp-content/uploads/IPR\\_PR-Big-Data-Revolution\\_3-29.pdf](https://instituteforpr.org/wp-content/uploads/IPR_PR-Big-Data-Revolution_3-29.pdf)
- Mert, A. C., Öztürk, E., ve Savaş, E. (2019). Design and implementation of encryption/decryption architectures for bfv homomorphic encryption scheme. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 28(2), 353–362.
- Newsom, D., Turk, J., ve Kruckeberg, D. (2012). *Cengage advantage books: This is PR: The realities of public relations*. Cengage Learning.
- Ofek, E., Katona, Z., ve Sarvary, M. (2011). “Bricks and clicks”: The impact of product returns on the strategies of multichannel retailers. *Marketing Science*, 30(1), 42–60.
- PRSSA. (n.d.). What is public relations: Learn about PR. Erişim 23 Ekim, 2021, <https://www.prssa.org/reference/prssa/about-prssa/learn-about-pr>.
- Özgen, E., ve Bilbil, E. (2007). Türkiye'de ulusal basın ile ilişkiler kapsamında halkla ilişkiler ve reklamcılarının etik sorunları. *Marmara İletişim Dergisi*, 12(12), 177-185.
- Rosenbaum, S. (2010). Data governance and stewardship: designing data stewardship entities and advancing data access. *Health Services Research*, 45(5p2), 1442–1455.
- Schoenmakers, B. (2021). *MPyC*. <https://www.win.tue.nl/~berry/mpyc/>
- Seitel, F. P. (2017). *Practice of public relations*. Pearson Education.
- Shamir, A., Rivest, R. L., ve Adleman, L. M. (1981). Mental poker. In *The mathematical gardner* (pp. 37–43). Springer.
- Shannon, C. E. (1949). Communication theory of secrecy systems. *The Bell System Technical Journal*, 28(4), 656–715.
- Sindermann, C., Lachmann, B., Elhai, J. D., ve Montag, C. (2021). Personality associations with WhatsApp usage and usage of alternative messaging applications to protect one's own data. In *Journal of Individual Differences* (p. No Pagination Specified-No Pagination Specified). Hogrefe Publishing. <https://doi.org/10.1027/1614-0001/a000343>
- Stacks, D. W. (2016). *Primer of public relations research*. Guilford Publications.
- Taşçı, M. E. & Şamlı, R. (2020). Veri Madenciliği İle Kalp Hastalığı Teşhisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 88-95.
- Turing, A. M. (2004). *The essential turing*. Oxford University Press.
- Wang, F. (2014). *Field Study of Patent Strategies from Patent Map on Big Data: An Empirical Case of Big Data Application Platform in Taiwan*.
- Whitten, D., ve Leidner, D. (2006). Bringing IT back: An analysis of the decision to backsource or switch vendors. *Decision Sciences*, 37(4), 605–621.
- Wiencierz, C., ve Röttger, U. (2019). *Big Data in Public Relations: A Conceptual Framework*. 12, 1–15.
- Wijoyo, H., Limakrisna, N., ve Suryanti, S. (2021). The effect of renewal privacy policy whatsapp to customer behavior. *Insight Management Journal*, 1(2), 26–31.
- Wilcox, D. L., Ault, P. H., ve Agee, W. K. (2006). *Public relations: Strategies and tactics*.
- Wright, D. K., ve Hinson, M. D. (2008). How blogs and social media are changing public relations and the way it is practiced. *Public Relations Journal*, 2(2), 1–21.
- Yao, A. C.-C. (1982). *Protocols for Secure Computations (Extended Abstract) BT - 23rd Annual Symposium on Foundations of Computer Science, Chicago, Illinois, USA, 3-5 November 1982* (pp. 160–164). <https://doi.org/10.1109/SFCS.1982.38>
- Yao, A. C.-C. (1986). *How to Generate and Exchange Secrets (Extended Abstract) BT - 27th Annual Symposium on Foundations of Computer Science, Toronto, Canada, 27-29 October 1986* (pp. 162–167). <https://doi.org/10.1109/SFCS.1986.25>
- Zhang, Y., Ren, J., Liu, J., Xu, C., Guo, H., ve Liu, Y. (2017). A survey on emerging computing paradigms for big data. *Chinese Journal of Electronics*, 26(1), 1–12.





# İnsansız Su Altı Araçlarında Kullanılan İtici Motorların İtici Kuvveti Hesaplanmasında Uygulanan Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Talha Gülgün<sup>1\*</sup>, İsmail Yalçinkaya<sup>2</sup>, Mertcan Erdoğan<sup>3</sup>, Akif Durdu<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4896-8611), talhagulgunn@gmail.com

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6567-399X), ismailyalcinkaya96@gmail.com

<sup>3</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4613-8729), mrtcn7899@gmail.com

<sup>4</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5611-2322), adurdu@ktun.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 13 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 27 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008881)

**ATIF/REFERENCE:** : Gülgün, T., Yalçinkaya, İ., Erdoğan, M. & Durdu, A. (2021). İnsansız Su Altı Araçlarında Kullanılan İtici Motorların İtici Kuvveti Hesaplanmasında Uygulanan Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 791-795.

## Öz

Su altı araçları pek çok uygulama alanında aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Uzaktan kontrol edilebilen insansız su altı araçlarının yanı sıra otonom bir şekilde çalışma kapasitesine sahip araçlarda bulunmaktadır. İnsansız su altı araçları; arama – kurtarma, su altı keşif ve gözlem, askeri amaçlı uygulamalar gibi alanlarda görev almaktadır. Su altı araçlarında bulunan başlıca kısımlar ise iskelet gövde, itici motorlar, sızdırmalığı sağlanmış bölme, batarya veya güç kaynağıdır. İtici motorlar aracın hareket kabiliyetini doğrudan etkileyerek önemli parametrelere yön verir. İtici motor dizilimleri sonucu serbestlik derecesi değişebilirken, itki kuvveti, aracın ulaşabileceği maksimum hız gibi parametrelerde de belirleyici rol oynar. Bu çalışmada; su altı araçlarında kullanılan itici motorların bilgisayar destekli analiz programında itki kuvveti hesabında kullanılabilecek iki yöntem üzerinde durulmuştur. İki durum birbirinden bağımsız bir biçimde analiz edilmiş, oluşan itki kuvveti değerleri hesaplatılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri sonucu oluşan iki durumdaki itki kuvveti değerleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Her iki yöntem sonucunun da %1'den az bir fark ile neredeyse aynı sonuçları verdiği görülmüştür. Çalışma sırasında kullanılan itici motorların pervane ve nozzle kısımları özgün tasarım olup 3D yazıcıdan üretilmiştir. Üretimi tamamlanan iticiler, çalışmalarda kullanılması için tasarlanan su altı aracına entegre edilmiştir. Yapılan çalışma sonucu itici motorlarda oluşan itki kuvvetinin hesabında iki yöntemde kullanılabileceği, hangi yöntem kullanılmış olursa olsun bulunan değerin diğer yöntem ile hesaplanacak olan değere çok yakın veya aynı olacağına ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizleri, Hesaplama Yöntemi, İnsansız Su Altı Aracı, İtici Motor, İtici Kuvveti.

## Comparison of the Analysis Methods Applied in Calculating the Thrust Force of the Thrusters Used in Unmanned Underwater Vehicles

### Abstract

Underwater vehicles are actively used in many application areas. It is available in unmanned underwater vehicles that can be controlled remotely, as well as vehicles capable of operating autonomously. Unmanned underwater vehicles; It is involved in areas such as search and rescue, underwater reconnaissance and observation, military applications. The main parts found in underwater vehicles are the frame body, thrusters, sealed compartment, battery, or power source. Thrusters directly affect the mobility of the vehicle and give direction to important parameters. While the degree of freedom may vary as a result of thrust arrays, the thrust force also plays a decisive role in parameters such as the maximum speed that the vehicle can reach. In this study, two methods that can be used in the calculation of thrust force in the computer-aided analysis program of thrusters used in underwater vehicles are

\* Sorumlu Yazar: talhagulgunn@gmail.com

emphasized. The two situations were analyzed independently of each other and the resulting thrust force values were calculated. The thrust force values in the two cases, which were formed as a result of computational fluid dynamics analysis, were compared with each other. It was found that the results of both methods gave almost the same results with a difference of less than 1%. The propeller and nozzle parts of the thrusters used during the study are original designs and produced from a 3D printer. The thrusters, whose production has been completed, are integrated into the underwater vehicle designed for use in studies. As a result of the study, it was found that the thrust force generated in the thrusters can be used in two methods of calculation, regardless of which method is used, the value found will be very close or the same as the value to be calculated by the other method.

**Keywords:** Computational Fluid Dynamics Analysis, Computing Method, Thruster, Thrust Force, Unmanned Underwater Vehicle.

## 1. Giriş

İnsansız su altı araçları her geçen gün daha çok kullanılmakta ve önemi artmaktadır. İnsansız su altı araçları; Denizcilik faaliyetleri, arama kurtarma operasyonları, su altı incelemesi ve gözlemlenmesi, askeri operasyonlar ve faaliyetler, su altı bakım, onarım, kurulum, batıkların incelenmesi gibi pek çok kritik alanda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır (Boehm et al., 2018; Budiyo, 2009; Tangorra et al., 2007). İnsansız su altı araçları literatürde bir operator tarafından uzaktan kontrol edilebilen (ROV, Remotely operated vehicle,) ve herhangi bir operator müdahalesine gerek kalmadan otonom bir biçimde faaliyet gösterebilen (AUV, autonomous underwater vehicle,) su altı araçları olarak iki farklı biçimde sınıflandırılmıştır.

Kullanım alanı ve amacı doğrultusunda farklı boyutlarda ve ağırlıklarda tasarlanabilme imkanı sunan su altı araçları, üzerine yerleştirilecek çeşitli sensörler ve robot kollar sayesinde bir çok veriyi ve görevi de yerine getirebilirler (Budiyo, 2009; Ludvigsen et al., 2017; Negahdaripour et al., 2006). Aracın üzerine yerleştirilecek kameralar sayesinde dalgıçlar için girilmesi tehlikeli olan bölgelere rahatlıkla erişebilir, daha öncesinde görüntü alınmamış alanların keşfi gerçekleştirilebilir (Christ et al., 2013; Nian et al., 2013). Su altı araçları genel olarak uzaktan kontrol yöntemi ile kablolar vasıtasıyla bir operator tarafından kullanılmaktadır. Yüksek hareket kabiliyetinin sağlanması için itici motorlar, elektronik bileşenlerin muhafazası için sızdırmazlığı sağlanmış bölme, güç kaynağı veya batarya ve araç üzerindeki bileşenlerin bir bütün şekilde durması amacıyla iskelete sahiptir. İskeletin bir başka görevi ise dış ortamdan gelebilecek darbelere karşı araç içerisindeki bileşenlerin korunmasıdır.

Araç üzerinde bulunan itici motorlar, aracın hareket kabiliyetine doğrudan etki ederek serbestlik derecesinin (DOF) belirlenmesini sağlar. Yüksek serbestlik derecesi, istenilen görevlerin daha rahat bir biçimde gerçekleştirilmesine olanak sağlar ve kullanan operatörün araca daha hakim olmasına neden olur.

Bu çalışmada; insansız su altı araçlarında kullanılan itici motorların sahip olduğu itki kuvveti değerinin hesaplanması için iki farklı yöntem üzerine çalışılmıştır. Bilgisayar destekli tasarım programında hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile itki kuvveti analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz türlerinden ilki, araç üzerinde bulunan ve ileri – geri hareketi sağlayan 4 adet itici motorun aynı anda modellenmesi sonucu elde edilen itki kuvvetinin hesaplanmasıdır. Diğer yöntemde ise araç üzerinde kullanılan itici motor, diğer motorlardan bağımsız bir biçimde tek başına modellenmiş ve itki kuvveti değeri hesaplanmıştır. Elde edilen değer 4 ile çarpılarak, araçta ileri – geri hareketi için 4 adet itici motor kullanılmıştır, aracın ileri – geri hareketini sağlayan durum elde edilmiştir. Çıkan her iki farklı yöntemde

de aracın ileri hareketi sırasında oluşan itki kuvveti değerleri karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

İnsansız su altı araçları küçük boyutlara sahip olması ve hafiflik gibi parametrelerden dolayı su altı görüntü alma, su altı antik kalıntıların incelenmesi gibi değişik konularda da sıklıkla kullanılmaktadır. Düşük maliyetli su altı araçlarının yanı sıra üzerlerinde kullanılan sensörlerin son teknoloji olmasından kaynaklı olarak yüksek maliyetli araçlar da üretilebilmektedir. Kullanıcı amacı ve doğrultusunda araçta bulunacak bileşenler özenle seçilir ve buna uygun araç tasarımına gidilir maliyet düşürülebilmektedir. Araçtan alınan veriler eşliğinde bilimsel çalışmalar gerçekleştirilebilir, deniz canlıları incelenebilir, literature yeni keşifler sağlanabilmektedir.

### 2.1. İtici Motor - Thruster

İtici motorlar su altı araçlarında bulunan en önemli kısımlardan biridir. Motorlar sayesinde su altı aracına hareket kabiliyeti kazandırılır (Chin et al., 2006; Healey et al., 1995). Temel olarak aracın ileri – geri, aşağı – yukarı hareketi sağlarken farklı motor dizilim ve konfigürasyonları sayesinde ekstra serbestlik derecesi katacak manevra kabiliyetleri de araca tanınmış olur (Gülğün et al., 2020; Yoeger et al., 1990). Hareket kabiliyetinin yanı sıra dış ortamdan gelen müdahalelere karşı aracın dengesinin korunmasını sağlayarak görevlerin başarılı bir biçimde gerçekleştirilmesini sağlar (Muljowidodo et al., 2009).

İtici motorlar hareket kabiliyetini üzerlerinde bulundukları motor ve pervane sayesinde gerçekleştirir (Gülğün et al., 2020). Pervane ve rotor kısmı nozle içerisine alınarak motor bileşenlerinin dış etmenlerden zarar görmesini engeller. Su altı araçlarında piyasada hazır olarak satılan itici motorlar kullanılabilirliği gibi farklı malzemeler kullanılarak 3D yazıcılardan da pervane ve nozle kısımları üretilebilmektedir.

İtici tasarımı gerçekleştirilirken su altı aracının kullanılacağı ortam, gerçekleştireceği operasyonel faaliyet ve aracın bünyesinde barındırdıklarından dolayı sahip olacağı ağırlık gibi pek çok parametre göz önüne alınmalıdır (Muljowidodo et al., 2009). Belirlenen parametreler eşliğinde itici motorların 3 boyutlu tasarımı gerçekleştirilmeli, yapısal ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerine tabi tutulmalıdır. Pervane ve nozle yapısı için sonlu elemanlar analizleri çeşitlerinden olan statik analizler gerçekleştirilerek tasarımın dayanımı, modal analizler gerçekleştirilerek titreşimden kaynaklı oluşabilecek rezonans durumları ve bu durumlarda yapının sergileyeceği mukavemet özellikleri incelenebilir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri sayesinde aracın sahip olacağı itki kuvveti, hız, basınç, türbülans değerleri ve bu değerlerin dağılımı incelenebilmektedir. Tasarım aşamasında gerçekleştirilen bu tarz

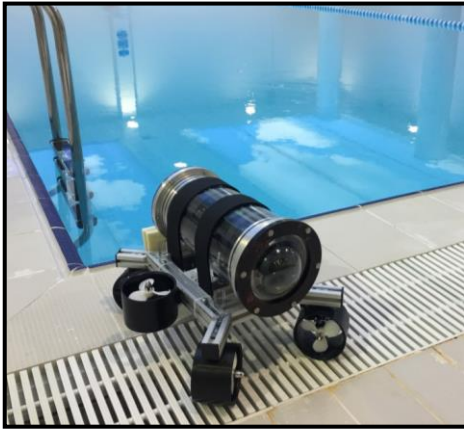
analizler sayesinde zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanarak en kısa zamanda en verimli itici tasarımına ulaşmak mümkün olabilmektedir. Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen analizler sonrası tasarım üretilerek test aşamasına geçilir. Testleri başarıyla tamamlayan itici motorlar, su altı araçlarında operasyonel faaliyetlerini gerçekleştirmek için hazır durumdadırlar.

Çalışma sırasında kullanılacak iticilerin pervane ve nozzle kısımları özgün olarak tasarlanmış ve yerli olarak üretilmiştir. Malzeme olarak PLA Flament kullanılmış, üretimi 3D yazıcı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Nozzle dış çapı 100 mm, uzunluğu ise 67 mm'dir. Pervane en büyük çap değeri 82, gövde kalınlığı ise 10 mm'dir. Üretim aşaması tamamlandıktan sonra montajı gerçekleştirilen iticilere ait görsel Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Üretilen nozzle ve pervane

Çalışma için özgün olarak tasarlanıp üretilen ve test aşamalarında kullanılan su altı aracı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Üretilen su altı aracı

## 2.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizleri

Günümüzde pek çok mühendislik dalında bilgisayar destekli tasarım programları kullanılmakta ve bu programlar vasıtasıyla birçok analiz, modelleme ve simülasyonlar ile desteklenerek gerçekleştirilmektedir (Amory et al., 2018). Teknolojinin her geçen gün daha da ileri bir seviyeye taşınmasıyla gerçekleştirilen analizler daha hızlı ve gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilerek sonuçlanabilmektedir.

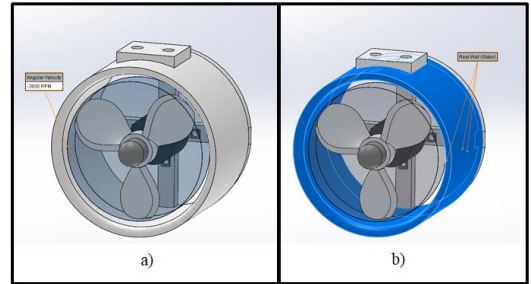
İtici motorların tasarımı gerçekleştirildikten sonra hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerine tabi tutulmuş, oluşacak itki kuvveti değeri hesaplatılmıştır. İki farklı yaklaşım kullanılarak gerçekleştirilen analizler, hesaplatılan değerler bakımından birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

## 2.3. Analizin Modellenmesi ve Simülasyonu

Gerçek hayattaki durumların bilgisayarda test edilebilmesi için durumun modellenmesi gerekmektedir. Yapılan analizler tasarlanan iticilerin sahip olacağı itki kuvvetinin 2 farklı analiz yöntemi kullanarak hesaplanması ve karşılaştırılması üzerindedir.

Hesaplama alanının boyutları sisteme tanımlanarak modelleme işlemine başlangıç yapılır. Hesaplama alanı analiz sonucunda elde edilecek değerlerin doğruluğu için önem arz etmektedir. Hesaplama alanı su altı aracının testlerinin yapıldığı yüzme havuzu boyutları olan 10 x 5 x 2 metre olacak şekilde tanımlanmıştır ve araç havuzun tam ortasına konumlandırılmıştır.

İlk durumun modellenmesi için aracın ileri hareketini sağlayan 4 adet itici içerisindeki pervaneler sisteme entegre edilmiştir. Pervanelerin dönüş yönünü temsil etmek amacıyla pervane çapı ve kalınlığında silindirik bir disk oluşturulmuş ve pervane üzerine konumlandırılmıştır (bkınız. Şekil 3-a). Sınır şartı olarak ise motorun rotor kısmı gerçek duvar ve stator olarak seçilmiştir (bkınız. Şekil 3-b). Şekil 3'te gösterilen bu modelleme, kullanılan her iki yöntemde de ortaktır.



Şekil 3. Pervane sınır şartları ve silindirik disk

Akış analizlerinde pervanelerin açısal hızları, kullanılan motorun teknik bilgi formundan alınmış, 3600 RPM araç için planlanan en yüksek çalışma devri olarak belirlenmiş ve analizlerde giriş parametresi olarak kullanılmıştır. Aracın ileri hareketinin modellenmesi için; araç önündeki 2 iticinin pervanelerine -3600 rpm, arka kısımdaki 2 iticinin pervanelerine 3600 rpm açısal hız tanımlanmıştır.

Diğer yöntem ile gerçekleştirilecek analiz için oluşturulan akış alanı 2 m x 2 m x 2 m ebatlarındadır ve itici bu alanın ortasına konumlandırılmıştır. Bu gibi dış akış analizlerinde, analize tabi tutulan nesnenin sahip olduğu boyutlar, belirli oranlarda büyütülerek hesaplama alanı için gerekli boyut değerleri elde edilir ve analizlin sonsuz bir ortamda yapıldığı tasvir edilmiş olur. 2 x 2 x 2 metrelik ebatlar kullanıldığında bu sonsuz ortamın tasvir edilmesi sağlandığı için analizin daha kısa sürede yakınsaması amacıyla ilk durumdaki hesaplama alanı boyutu tercih edilmemiştir. Pervanelerin dönüşünü simule etmek amacıyla silindirik disk oluşturulmuş ve 3600 rpm açısal hız



giriş parametresi olarak verilmiştir. İtçinin rotor kısımları gerçek duvar ve stator olarak seçilmiştir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

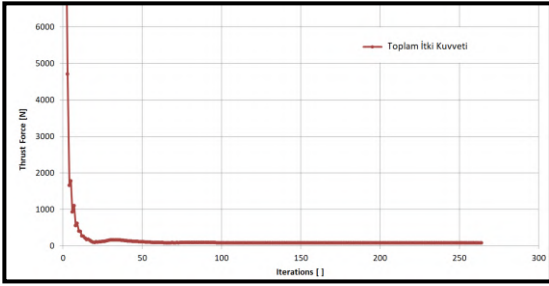
#### 3.1. Araştırma Sonuçları

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile bilgisayar destekli tasarım programında gerçekleştirilen analizler sonucu kullanılan ilk yöntemde, belirlenen çalışma devrinde elde edilen toplam itki kuvveti 85,53 N (Newton) olarak hesaplanmış, bu N değeri 9,81'e bölünerek kgf (Kilogramforce) karşılığı bulunmuştur. Denkem 1'de gösterilmiştir.

$$\text{Toplam İtki} = \frac{85,53 \text{ N}}{9,81} \quad (1)$$

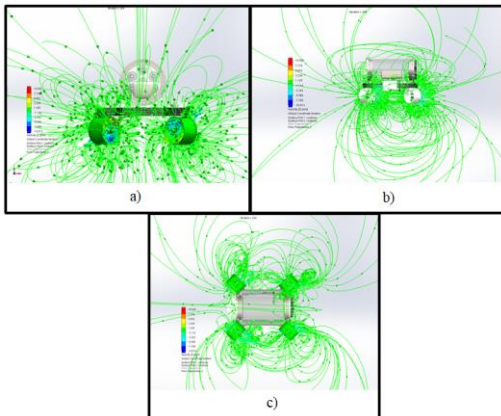
$$\text{Toplam İtki} = 8,71 \text{ Kgf}$$

8,71 kgf'luk değer, aracın su altında 8,71 kg'lık bir ağırlığı zorlanmadan çekebileceği anlamına gelmektedir. Çalışma sürecinde üretilen ve testler sırasında kullanılan su altı aracı su içerisinde askıda kalır yapıda olduğu için bu itki kuvveti değeri planlanan görevler için yeterli seviyededir. Şekil 4'te iterasyon başına hesaplanan itki kuvveti grafiğe dönüştürülmüştür.



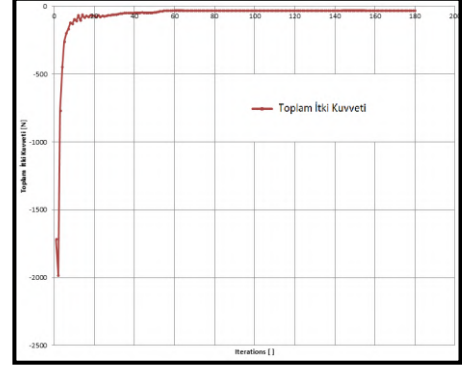
Şekil 4. İterasyon başına hesaplanan itki kuvveti

Grafikte görüldüğü üzere oluşan kuvvetin başlarda yüksek değerlerden değişimler göstererek bir noktaya düşmüş ve daha sonrasında kararlı bir yapıya bürünerek yakınsadığı görülmektedir. Yakınsama, programın elde ettiği kuvvet değerinde karar kıldığı anlamını taşımaktadır. Şekil 5'te iticilerinin aktif olarak çalışması sırasında akışın görselleştirilmesi sonucu oluşan görseller ön, yan ve üst görünüş olarak sırasıyla gösterilmiştir. Oluşan hız değerleri belirli aralıklara göre renklendirilmiş olup hangi rengin hangi değere karşılık geldiği resimdeki skalada gösterilmiştir.



Şekil 5. İticilerinin aktif olarak çalışması sırasında akışın görselleştirilmesi

Diğer yöntem kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonucunda ise tek bir iticiden kaynaklı oluşan itki kuvveti 21,17 N olarak hesaplanmıştır ve Şekil 6'da itki kuvveti değerinin grafiğe dökülmüş hali gösterilmiştir.



Şekil 6. İtki kuvveti sonucu

Grafikteki itki kuvveti değerlerinin negatif olması yönü temsil etmektedir ve hesaplamalar yapılırken sadece kuvvet değerleri üzerinden işlem yapılmıştır.

Dört adet itici motor aracın ileri hareketi için kullanıldığından dolayı bulunan bu değer 4 ile çarpılarak aracın ileri yönde sahip olacağı toplam itki kuvveti bulunmuştur. Denklem 2'de toplam itki kuvveti hesabı gösterilmiştir.

$$\text{Toplam İtki Kuvveti} = 21,17 \text{ N} \times 4 \quad (2)$$

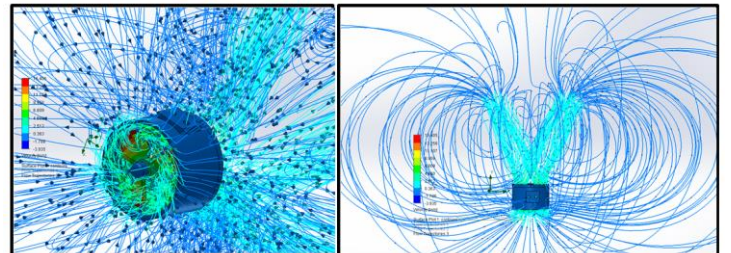
$$\text{Toplam İtki Kuvveti} = 84,68 \text{ N}$$

Denklem 3'te oluşan 84,68 N'luk itki kuvveti değeri Kgf cinsine dönüştürülmüştür.

$$\text{Toplam İtki} = \frac{84,68 \text{ N}}{9,81} \quad (3)$$

$$\text{Toplam İtki} = 8,63 \text{ Kgf}$$

Denklem 3'te de görüldüğü üzere toplam itki kuvveti 8,63 Kgf olarak hesaplanmıştır. Şekil 7'de pervanelerin aktif olarak çalışması sırasında akışın görselleştirilmesi sonucu oluşan görsellere yer verilmiştir. Oluşan hız değerleri belirli aralıklara göre renklendirilmiş olup hangi rengin hangi değere karşılık geldiği resimdeki skalada gösterilmiştir.



Şekil 7. Pervanelerin aktif olarak çalışması sırasında akışın görselleştirilmesi



Şekilde görüldüğü üzere akış çizgilerinin düzenli bir biçimde tekrar eden hareketler izlemesi, çalışma için yapılan özgün pervane ve nozzle tasarımının uygun bir dizayna sahip olduğunu göstermektedir.

### 3.2. Tartışma

Gerçekleştirilen ilk yöntemde analiz sonucunda toplam itki kuvveti değeri 85,53 N gelirken, ikinci yönteme göre toplam itki kuvveti değeri 84,68 N gelmektedir. Bu iki değer yüzdelik olarak ne kadar farklılık gösterdiği ise denklem 4'te hesaplanmıştır.

$$\% Fark = \frac{85,53-84,68}{85,53} \times 100 \quad (4)$$

$$\% Fark = 0,9938$$

Denklem 4 sonucundan da anlaşılacağı üzere her iki yöntemle yapılan analiz sonuçlarının birbirlerine % 0,9938 gibi çok yakın değerlerde sonuçlandığı ve %1'den düşük bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç analizlerde kullanılan yöntemlerin ve analizlerin doğruluğunu kanıtlar niteliktedir.

Bu çalışmadan elde edilecek sonuçlar, mühendislik alanında bilime hizmet etmek isteyen mühendis ve mühendis adayları tarafından kullanılabilme özelliğine sahiptir. Su altı sistemlerinde kullanılmak üzere tasarlanacak olan insanlı – insansız su altı araçlarının, üzerlerinde bulunan iticilerden dolayı sahip olacağı itki kuvveti değeri hesabı için yol gösterici durumda bulunan bu araştırma, hangi yöntemlerin kullanılabileceği, kullanılan farklı yöntemlerin sonuçları değiştirip değiştirmeyeceği konusunda okuyucuya bilgi sahibi edinmesini sağlayacaktır.

### 4. Sonuç

Bu çalışmada su altı araçlarında kullanılan itici motorların sahip olduğu itki kuvvetinin hesaplanmasına kullanılan iki farklı yöntem ele alınmıştır. Hesaplamalı akışkanlar yöntemi ile bilgisayar ortamında gerçekleştirilen analizler sonucu iki farklı yöntemle hesaplatılan itki kuvveti değerleri karşılaştırılmıştır. İki durum arasında oluşan kuvvet değeri farkı %1'den az olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler itici motorların itki kuvveti hesabında gerçekleştirilen her iki yöntemde kullanılabilmesi, herhangi birisinin kullanılması durumunda ise bir sakınca olmadığını ortaya koymuştur.

### 5. Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Konya Teknik Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Babür Özçelik'e, aracın üretimi sırasında sponsorluk anlamında desteklerini esirgemeyen Robotik Otomasyon ve Kontrol Laboratuvarı (rac-lab.com)'na, T3 Vakfına, Kapsül Teknoloji Platformu'na; bu çalışmanın ortaya çıkmasında emeği geçen tüm saygıdeğer hocalarımıza ve personele bizlere verdikleri sonsuz desteklerinden dolayı teşekkürü borç biliriz.

### Kaynakça

- Amory, A., & Maehle, E. (2018). *Modelling and CFD simulation of a micro autonomous underwater vehicle SEMBIO*. Paper presented at the OCEANS 2018 MTS/IEEE Charleston.
- Boehm, J., Berkenpas, E., Henning, B., Rodriguez, M., Shepard, C., & Turchik, A. (2018). *Characterization, modeling, and simulation of an ROV thruster using a six degree-of-freedom load cell*. Paper presented at the OCEANS 2018 MTS/IEEE Charleston.
- Budiyono, A. (2009). Advances in unmanned underwater vehicles technologies: Modeling, control and guidance perspectives.
- Chin, C. S., Lau, M. W. S., Low, E., & Seet, G. G. L. (2006). *Design of thrusters configuration and thrust allocation control for a remotely operated vehicle*. Paper presented at the 2006 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics.
- Christ, R. D., & Wernli Sr, R. L. (2013). *The ROV manual: a user guide for remotely operated vehicles*: Butterworth-Heinemann.
- Gülgün, T., Alankaya, G., Duran, M. E., Erdoğan, M., DURDU, A., YALÇINKAYA, İ. s., & Terzioğlu, H. (2020). Analysis of the Effect on the Thrust Force as a Result of Positioning Thrusters at Different Angles in Underwater Vehicles in CAD Environment. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 357-362.
- Gülgün, T., Alankaya, G., Duran, M. E., Erdoğan, M., Yalçinkaya, İ., Durdu, A., & Terzioğlu, H. (2020). Low-Cost Unmanned Underwater Vehicle Design. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 363-367.
- Healey, A. J., Rock, S., Cody, S., Miles, D., & Brown, J. (1995). Toward an improved understanding of thruster dynamics for underwater vehicles. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 20(4), 354-361.
- Ludvigsen, M., Aasly, K., Ellefmo, S., Zylstra, M., & Pardey, M. (2017). *ROV based drilling for deep sea mining exploration*. Paper presented at the OCEANS 2017-Aberdeen.
- Muljowidodo, K., Adi N, S., Prayogo, N., & Budiyono, A. (2009). Design and testing of underwater thruster for SHRIMP ROV-ITB.
- Negahdaripour, S., & Firoozfam, P. (2006). An ROV stereovision system for ship-hull inspection. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 31(3), 551-564.
- Nian, R., He, B., Yu, J., Bao, Z., & Wang, Y. (2013). ROV-based underwater vision system for intelligent fish ethology research. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 10(9), 326.
- Tangorra, J. L., Davidson, S. N., Hunter, I. W., Madden, P. G., Lauder, G. V., Dong, H., . . . Mittal, R. (2007). The development of a biologically inspired propulsor for unmanned underwater vehicles. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 32(3), 533-550.
- Yoerger, D. R., Cooke, J. G., & Slotine, J.-J. (1990). The influence of thruster dynamics on underwater vehicle behavior and their incorporation into control system design. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 15(3), 167-178.



# Ağır Vasıta Hava Kompresörü Arıza Durumlarının Naive Bayes Sınıflandırıcısı Kullanılarak Analizi

Emre Gül<sup>1\*</sup>, Mete Kalyoncu<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Yıldız Pul Otomotiv Motor Parçaları Sanayi A.Ş., Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0348-4904), [emregl2816@gmail.com](mailto:emregl2816@gmail.com)

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2214-7631) [mkalyoncu@ktun.edu.tr](mailto:mkalyoncu@ktun.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 14 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 21 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009757)

**ATIF/REFERENCE:** Gül, E. & Kalyoncu, M. (2021). Ağır Vasıta Hava Kompresörü Arıza Durumlarının Naive Bayes Sınıflandırıcısı ile Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 796-800.

## Öz

Hava kompresörleri ağır vasıta fren sistemlerinin hava ile beslenmesi için hayati öneme sahiptir. İçerisinde bulundurduğu piston biyel mekanizması ile havanın istenilen basınca ulaştırılarak (10-12.5 bar) tanka depo edilmesini sağlamaktadır. Planlı bakımlarda bileşenlerinin cüzi ücretlerle değişimleri yapılabilirken, arıza durumlarında aracın yolda kalmasına sebep olabilmekte ve yüksek miktarda ücret ve plansız zaman kaybı ile onarımı yapılabilmektedir. Beklenmedik arıza süreleri ağır vasıtaların taşıdıkları ürünleri müşteriye geç teslim edilmesine sebep olabilmekte ve müşteri memnuniyetsizliğine sebep olmaktadır. Bu çalışma ile hava kompresöründe gerçekleşebilecek arıza durumları araştırılmış ve firma Ar-Ge biriminde oluşturulan test düzeneği ile belirlenen arızalar manuel olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler Dewesoft yazılımı ile kayıt altına alınmıştır. Python yazılımı kullanılarak Naive Bayes Sınıflandırıcısı modelleri oluşturulmuştur. Toplam 23.987 veri kullanılmıştır. Bu verilerin %80'lik kısmı ile modeller eğitilmiş ve %20 'lik kısmı ile arıza tahmininde bulunulmuştur. Sırasıyla eğitim ve test verisi hatalı tahmin sayıları; Bernoulli Naive Bayes Sınıflandırıcısı için 18062 – 4550, Multinomial Naive Bayes Sınıflandırıcısı için 16654 – 4210, Gaussian Naive Bayes Sınıflandırıcısı için 961–258 veri hatalı tahminde bulunmuştur. Gaussian Naive Bayes sınıflandırıcısının bariz farkla doğru kararlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca sınıflandırma metrikleri incelenerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır Vasıta Hava Kompresörü Arızaları, Bernoulli – Multinomial - Gaussian Naive Bayes Sınıflandırıcısı, Makine Öğrenmesi

## Analysis of Heavy Vehicle Air Compressor Failure States Using Naive Bayes Classifier

### Abstract

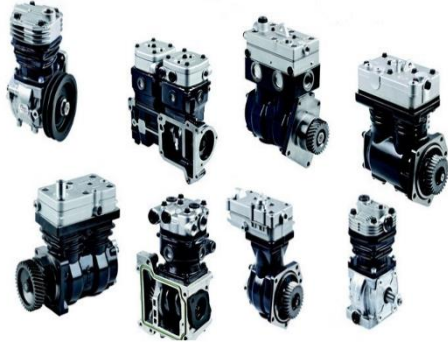
Air compressors are vital for the air supply of heavy vehicle braking systems. With the piston connecting rod mechanism it has in it, it ensures that the air is delivered to the desired pressure (10-12.5 bar) and stored in the tank. While changes of its components can be made at small fees during planned maintenance, it can cause the vehicle to stay on the road in case of failure and can be repaired with a high amount of fees and unplanned loss of time. Unexpected failure times can cause heavy vehicles to deliver their products to the customer late and cause customer dissatisfaction. In this study, the fault situations that may occur in the air compressor were investigated and the deficiencies determined by the test device created in the company's R & D unit were performed manually. The obtained data were recorded with Dewesoft software. Naive Bayes Classifier models were created using Python software. A total of 23,987 data were used. Models were trained with 80% of the total data and fault prediction was made with 20%. The training and test data, respectively, are incorrect prediction numbers; 18062–4550 for Bernoulli Naive Bayes Classifier, 16654–4210 for Multinomial Naive Bayes Classifier, 961–258 for Gaussian Naive Bayes Classifier data has been incorrectly estimated. It has been observed that the Gaussian Naive Bayes classifier makes correct decisions with obvious difference. In addition, the results obtained by examining the classification metrics were evaluated.

**Keywords:** Heavy Vehicle Air Compressor Fault, Bernoulli – Multinomial - Gaussian Naive Bayes Classifier, Machine Learning

\* Sorumlu Yazar: [emregl2816@gmail.com](mailto:emregl2816@gmail.com)

## 1. Giriş

Hava kompresörleri, içerisinde barındırdığı piston biyel mekanizması ile ortamdaki havayı basınçlandırarak tanka depo edilmesini sağlamaktadır. Ağır vasıtalarındaki ihtiyaç durumlarına göre tek veya çift silindirli olarak tasarlanmaktadır. Aracın hava ihtiyacına göre su ya da hava soğutmalı tipleri mevcuttur [1]. Şekil 1.' de ağır vasıta hava kompresörü resimleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Ağır Vasıta Hava Kompresörü [2]

Tır, traktör, otobüs ve kamyonlarda kullanılan pistonlu kompresörler 8-12,5 bar aralığında basınçlı hava üretmektedir. Ağır vasıtalarda motor ağı ile kompresörün yağlanması sağlanmaktadır.

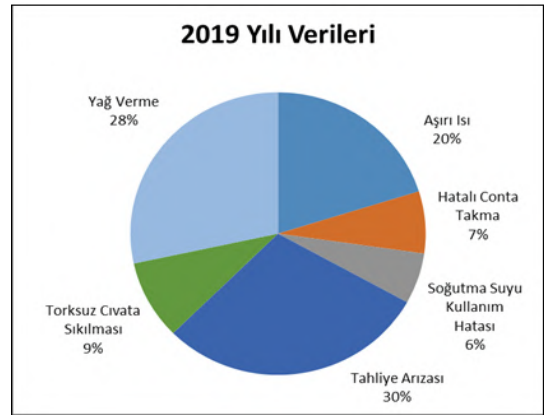
Kompresör ile ilgili literatür araştırmaları sonucunda bu bilgilerin ışığında, hava fren kompresörleri için gelişmiş sorun giderme kılavuzunda, fren sistemine giriş ve hava doldurma sistemi problemlerini teşhis etmek için testler içeren sorun giderme belirtileri anlatılmıştır [3]. Ticari araç sistemleri servis haberleri dokümanında ağır vasıta hava kompresörleri yağ verme sorununun sebep ve sonuçları incelenmiştir [4]. Alması çalışmasında pistonlu kompresörlerin bileşen tasarımı ve üretimi, ticari noktalar, yardımcı ve aksesuarlar, performans ve güvenilirlik ile ilgili optimum konfigürasyonunu makalesinde ele almıştır [5]. Bir internet sitesinde kompresörlerde arıza bulma başlığı altında pistonlu kompresör arızaları ve sebeplerinden bahsedilmiştir [6]. Endüstride kullanılan pistonlu kompresör arızaları ve sebeplerinden bahsedilmiştir internet sitesinde verilmiştir [7]. Prytz ve arkadaşları Volvo kamyonunda kayıtlı verileri kullanarak kompresör arızalarını tahmin etme konusundaki deneyimlerini açıkladılar. VOLVO veri toplama işlemi için LVD isimli bir kayıtlı araç veri tabanı oluşturmuştur ve elde edilen veriler elektronik kontrol ünitelerinde saklanmaktadır ve tüm yerlerden gelen veriler bir merkezde toplanır. Veriler yetkili bir servise kablosuz olarak telematik bir ağ üzerinden gönderilir veya alınır. Verileri alırken sisteme düşen kamyonlardan 3 sınıfı baz aldılar; 1. kompresörü arıza vermemiş olanlar 2. kompresörü yeni arıza vermiş olanlar ve 3. olarak kompresör arızası verebilecek olanlar. Kompresör arızası olan 80 kamyon bunlara bağlı 10 LVD değeri seçtiler ve kompresörü arıza yapmamış 1440 kamyonu da sete eklediler. Bu çalışmanın en önemli sonucu olarak, Logged Vehicle Data (LVD) tabanlı veri madenciliğinin otomotiv endüstrisinde öngörücü bakım çözümü olarak kullanılmasının daha uygun bir yaklaşım olduğunu anlamak ve kestirimci bakımın mümkün olduğunu ve göreceli olarak düşük miktarda veri olmasına rağmen önemli maliyet tasarrufları ile sonuçlanabileceğini göstermeye çalıştılar [8].

Townsend ve Badar çalışmalarında pistonlu kompresörlerin çalışmasına ilişkin arıza verileri, sürekli basınç izleme sistemlerinin güvenilirliği, etkinliği ve ekonomik analizini gerçekleştirmek için toplandı. Amaçları sürekli basınç izlemenin güvenilirliğini, verimliliğini ve mühendislik ekonomisini incelemektir. Sonuç olarak sürekli basınç izleme teknolojisinin kompresör filosunun verimliliği üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu gösterdiler [9].

Aydiner ve ark. 2019 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada ana sanayi üretimi hava kompresörünün performans testlerini test cihazında gerçekleştirmiş ve ana sanayinin yayınladığı kompresör performans verileri ile kıyaslamasını yapmışlardır. Bu sayede test düzeneğinin doğrulaması yapılmıştır [10]. Gül ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptıkları çalışmada ise yaygın görülen hava kompresörü arızalarından bahsedilmiş ve performans değerleri aynı test düzeneğinde belirlenmiştir [11]. 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada ise arıza verilerinin bir kısmı ile ağır vasıta hava kompresörü piston segmanı aşınması durumlarında K-en yakın komşu algoritması sınıflandırma performansı [12] ile rastgele orman algoritması arıza tahmin durumlarını incelenmiştir [13].

Yapılan araştırmalar ve teknik servis görüşmeleri neticesinde hava kompresörlerinde yaklaşık 80'e yakın arıza tespit edilmiştir. Bu çalışmada kompresör ve bağlantılı olduğu mekanizmaların bakımlarının yapılmaması sebebiyle kompresörde görülen en yaygın arızalar üzerinde durulmuştur.

2019 yılında en sık görülen kullanıcı kaynaklı arıza kaydı (620 adet) verileri incelenerek Şekil 2.'de grafik dağılımları paylaşılmıştır.



Şekil 2. Çeşitli Markalara Ait Teknik Servis 2018 Yılı Verileri

Kompresörün hava girişinden toz partiküllerini alması sonucu silindir gömleği ile piston segmanları arasında aşınma oluşur. Bu aşınma gömlek yüzeyinde üst ölü noktada 0.1 mm iken, alt ölü noktada 0.05 mm aralığında değişmektedir. Piston segmanlarında ise segman kalınlığı 3 mm'den 2.30 mm ölçülere kadar inebilmektedir. Piston segmanları ile silindir gömleği arasında oluşan boşluk, kompresörün kartere hava kaçırmasına ve karterdeki yağın hava çıkışından tanka doğru ilerlemesine yani yağ vermeye (taşımaya) sebep olmaktadır. Fazla yağ, hava kurutucu tahliye valfinin arıza göstermesine sebep olabilir. Hava kurutucu tahliye valfinden oluşan arıza tanka yağ kaçmasına ve sistemin yağlanması sebep olabilirken, bozulan tahliye hava kompresörünün sürekli yüke girip çıkmasına sebep olabilmektedir.

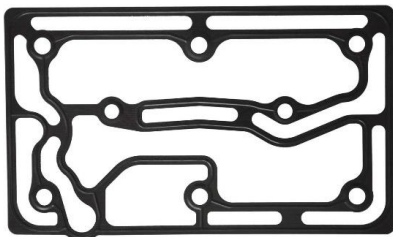


Tahliye arızasının alt başlıkları; hava girişinin tıkalı olması, hava çıkışının tıkalı olması, hava giriş ve çıkışının tıkalı olması, sürekli yükte çalışma arızaları olarak sıralanabilmektedir.

Motor hava filtresinden filtrelenerek geçen havanın bir bölümü motora gönderilirken, kalan kısmı kompresöre gönderilmektedir. Hava filtresinin tıkalı olması ya da borulardaki tıkanıklık motor girişinde vakuma sebep olabilmekte, kompresörde tank dolm süresini artırmakta ve hava çıkış hattına yağ vermesinde potansiyel bir artışa sebep olabilmektedir. Kompresör hava çıkışının tıkalı olması hava sisteminin yavaş doldurulmasına, kompresörün sürekli yükte çalışmasına, hava kompresörünün aşırı ısınması ve daha fazla yağ vermesine sebep olabilmektedir. Bununla birlikte araçtaki yağın kirli olması içerisinde toz partiküllerini bulundurması hava kompresöründe erken aşınmalara yol açarak yağ vermeye sebep olabilmektedir [14].

Sürekli yükte çalışma durumu sonucunda kompresör sürekli yükte girip çıkarken sıcaklığın artışına sebep olarak, kompresör içerisinde yağ buharının segmanları geçerek kompresör çıkışında kurum oluşumuna sebep olabilmektedir. Kompresör çıkışında oluşan kurum çıkış hattını tıkararak tankın dolm süresini artırmaktadır. Ayrıca basınçların düzensiz olması kompresör pleytine bağlı by-pass mekanizmasının sürekli devreye girip çıkmasıyla aşınmasına buna bağlı olarak mekanizmanın açık kalması ve kompresörün tankta hava doldurmaması gibi sorunlara yol açtığı gözlemlenebilmektedir.

Aşırı ısı arızasının birçok sebebi olabilmektedir. Kompresörler %25 oranında yükte çalışacak şekilde tasarlanırlar. Bu çalışma performansı kompresörlerin ömür ve dayanım sürelerinin maksimumda olması açısından önem arz etmektedir. Kompresörün sürekli yükte olması veya sürekli yükte girip çıkması, soğutma suyu sıcaklığının uzun süreli çalışma anında 120 °C sıcak ve üzerinde olması, soğutma suyu debisinde düşüş, hatalı soğutma suyu kullanımı gibi sebeplerden dolayı kompresör kapağında aşırı ısı oluşumu beklenir. Kompresör kapağı ile pleyti arasındaki NBR contaların fiziksel özelliklerini kaybetmesine ve bunun sonucunda suya hava kaçırma, tankta hava doldurmama, atmosfere hava salınımı gibi problemlerin oluşmasında etkilidirler. Şekil 3.'de NBR conta paylaşılmıştır.



Şekil 3. NBR Conta

### 1.1. Naive Bayes Sınıflandırıcısı

Koşullu olasılık temeline dayanarak özniteliklerinin tümünün sınıflandırılmasında, birbiri arasında eşit ve bağımsız olduğu varsayılan koşullu olasılık temellerine dayanan basit yapı bir sınıflandırmadır. Sınıflandırma işlemi farklı özniteliklerin sonuca olan etkisinin birleşmesiyle yapılır [15].

Naive Bayes istatistiksel yöntemler kullanarak sınıflandırma yapmaktadır ve performans açısından önemli bir algoritmadır. Niteliklerin öneminin hepsinde aynı derecede olduğu kabul edilir

[16]. Naive Bayes Algoritmasının matematiksel formülü  $P(C_j|x)$  eşitliğinde verilmiştir.

- $p(x|C_j)$ : Sınıf  $j$ 'den bir örneğin  $x$  olma olasılığı
- $P(C_j)$ : Sınıf  $j$ 'nin ilk olasılığı
- $p(x)$ : Herhangi bir örneğin  $x$  olma olasılığı
- $P(C_j|x)$ :  $x$  olan bir örneğin sınıf  $j$ 'den olma olasılığı (son olasılık)

$$P(C_j|x) = \frac{p(x|C_j)P(C_j)}{p(x)} = \frac{p(x|C_j)P(C_j)}{\sum_k p(x|C_k)P(C_k)} \quad 3.1.$$

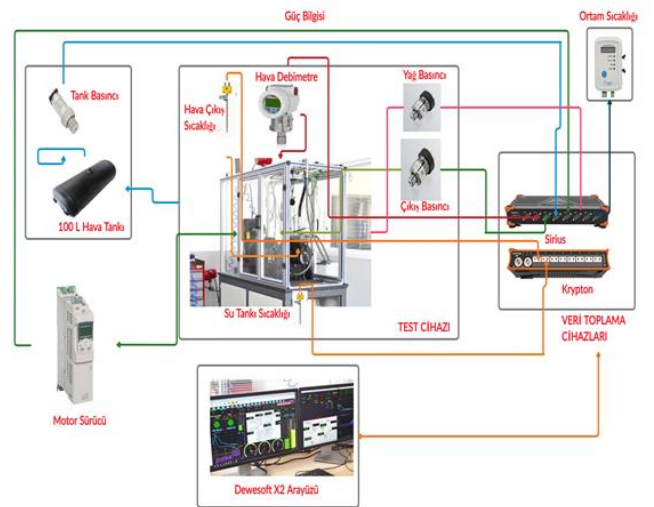
Naive Bayes sınıflandırıcısı Bernoulli Naive Bayes, Multinomial Naive Bayes ve Gaussian Naive Bayes olarak 3 başlıkta incelenebilir.

## 2. Materyal ve Metot

Firma bünyesinde ağır vasıta hava kompresörünün ömür testlerinin gerçekleştirilebilmesi için oluşturulan test düzeneğine ait şema Şekil 4.'de verilmiştir.

Veri toplama ve kayıt yazılımı olarak Dewesoft kontrolcüsü ve Dewesoft x3 yazılımı kullanılmıştır. Kompresör ve bağlantı hattı üzerine yerleştirilen sensörler vasıtasıyla elde edilen veriler sayesinde sistemin kontrolü de dewesoft ile sağlanmıştır. Kayıt altına alınan veriler yazılım ile Excel formatına dönüştürüldükten sonra etiket değerleri eklenerek, Python programının okuyabileceği csv. formatında kayıt edilmiştir [17].

Kompresörün araç üzerinde çalışmasının simule edilebilmesi için oluşturulan test cihazında kompresör ön kısmından flanş üzerine montajlanmıştır. Elektrik motorundan tahrik alabilmesi için araya kaplin bağlantısı yapılarak kompresördeki olumsuzluk durumlarında sistemin arıza görmesi engellenmiştir.



Şekil 4. Hava Kompresörü Uzun Ömür Test Düzeneği  
(Yıldız Pul Otomotiv Motor Parçaları Sanayi A.Ş.)

Hava kompresörü test düzeneğinde sistemsel olarak yaklaşık 40 kanaldan aynı anda senkron bir şekilde veri alınması mümkün olabilmektedir.



Test cihazında kullanılan sensör listesi Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. Bağlantı Konumlarına Göre Kullanılan Sensörler

No	Ölçüm Tipi	Ölçüm Metodu	Birimi
1	Tank Basıncı	Basınç Sensörü	bar
2	Yağ Basıncı	Basınç Sensörü	bar
3	Çıkış Hava Basıncı	Basınç Sensörü	bar
4	Hava Debisi	Debimetre	Kg/h
5	Güç Tüketimi	Motor Sürücüsü	kW
6	Ortam Sıcaklığı	Sıcaklık Sensörü	°C
7	Giriş Su Sıcaklığı	Sıcaklık Sensörü	°C
8	Çıkış Hava Sıcaklığı (İlk)	Sıcaklık Sensörü	°C
9	Çıkış Hava Sıcaklığı (Son)	Sıcaklık Sensörü	°C
10	Motor Devri	Motor Sürücüsü	rpm
11	Giriş Su Debisi	Debimetre	l/d

Giriş verilerine karşın, çıkış verisi olarak kompresör çalışma durumları etiketlenmiştir. 18 farklı durumun her biri için, 11 farklı sensörden veriler kompresör çalışma anında kayıt altına alınmıştır. Tank basıncının 8 bar' dan 12.5 bar seviyelerine gelenekadar saniyede 2 veri kayıt altına alınmış ve toplamda 23.987 veri algoritmaların eğitimi ve test edilmesi için kullanılmıştır.

Tablo 1.' de normal çalışma ve arızalı çalışma durumlarının etiketlendiği değerler gösterilmiştir.

Tablo 1. Arıza Durumlarına Bağlı Etiketli Verilerin Gösterimi

Giriş Parametrelerine Etiketlenmiş Çıkış Parametreleri	
Normal Koşullarda Çalışma Durumu	0
Hava Girişinin Tıkalı Olması Durumu	1: 2: 3: 4
Hava Çıkışının Tıkalı Olması Durumu	5: 6: 7
Hava Girişi ve Çıkışının Tıkalı Olması Durumu	8: 9: 10: 11
Aşırı Isı Durumu	12: 13: 14
Tahliye Arızası Durumu (%40 Sürekli Yükte Çalışma)	15
Yağ Verme (Taşınım) Durumu	16: 17: 18

Yapılan testlerde önemli olan parametrelerin varlığıdır. Hava kompresörlerinde giriş parametrelerine karşın 2 çıkış parametresi (Debi miktarı-Güç tüketimi) vardır. OEM üreticileri tarafından paylaştıkları teknik resimlerde kompresörlerinin çalışma performansını gösterebilmek için debi miktarı-güç tüketimi grafiklerini, her çalışma hızına (600-3000d/d) göre test ederek kullanıcılarına sunmaktadır. Arıza durumlarında giriş ve çıkış parametrelerinde küçükte olsa bir değişim söz konusu olacaktır. Bu değişimler sensörler vasıtasıyla ölçülerek sayısal büyüklüklere dönüştürülür.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Naive Bayes Sınıflandırıcısı için Bernoulli Naive Bayes Sınıflandırıcısı, Multinominal Naive Bayes Sınıflandırıcısı, Gaussian Naive Bayes Sınıflandırıcısı olmak üzere üç farklı tipte eğitim gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.'de Naive Bayes sınıflandırma yöntemlerinin eğitim verileri üzerindeki sınıflandırma performansları gösterilmiştir.

Tablo 3.'de Naive Bayes sınıflandırma yöntemlerinin test verileri üzerindeki sınıflandırma performansları gösterilmiştir.

Tablo 2. Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Sınıflandırma Performansları (Eğitim Veri Seti)

Tip	Doğruluk (%)	Kesinlik	Duyarlılık	F <sub>1</sub> Skoru	Kappa değeri	Hatalı Tahmin Edilen Veri Sayısı
Bernoulli Naive Bayes Sınıflandırıcısı	%5.90	0.00	0.06	0.01	0.00	18062
Multinominal Naive Bayes Sınıflandırıcısı	%13.20	0.23	0.13	0.12	0.08	16654
Gaussian Naive Bayes Sınıflandırıcısı	%95	0.96	0.95	0.95	0.95	961

Tablo 3. Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Sınıflandırma Performansları (Test Veri Seti)

Tip	Doğruluk (%)	Kesinlik	Duyarlılık	F <sub>1</sub> Skoru	Kappa değeri	Hatalı Tahmin Edilen Veri Sayısı
Bernoulli Naive Bayes Sınıflandırıcısı	%5.20	0.00	0.05	0.01	0.00	4550
Multinominal Naive Bayes Sınıflandırıcısı	%12.30	0.23	0.12	0.11	0.07	4210
Gaussian Naive Bayes Sınıflandırıcısı	%94.60	0.96	0.95	0.95	0.94	258

### 4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada ağır vasıta hava kompresörü arızaları sınıflandırılarak test düzeneği vasıtasıyla belirlenen arızalar manuel olarak meydana getirilmiş ve verileri kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan veriler belirlenen makine öğrenmesi algoritma modellerinin oluşturulmasında kullanılmış ve 10 kat çapraz doğrulama yöntemi ile modellerin genelleştirilmesi sağlanmış başarı oranlarının artırılması hedeflenmiştir. Elde edilen algoritma modellerinin performans değerlendirme sonuçlarına ulaşabilmek için doğruluk (accuracy), Kappa değeri, kesinlik (precision), duyarlılık (recall), F1 skoru gibi metriklere bakılmıştır.

Bernoulli, Multinominal, Gaussian olmak üzere üç farklı çözüm yaptırılmıştır. Gaussian Naive Bayes sınıflandırıcısının bariz farkla doğru kararlar verdiği gözlemlenmiştir.

Etiket değeri bilinen algoritmaların hiç görmediği veriler, algoritmalara tanıtılarak tahminde bulunması sağlanmış ve 18 farklı etiket değeri için verilen verilerde;

- Bernoulli Naive Bayes Sınıflandırıcısı Tahmin Matrisi incelendiğinde tüm çalışma durumlarına ait veriler %5.89 oranla 18 numaralı çalışma durumu sınıfına dahil edilmiştir. Algoritmanın başarılı bir sonuç vermediği gözlemlenmiştir.
- Multinomial Naive Bayes Sınıflandırıcısı Tahmin Matrisi incelendiğinde 4, 9, 14, 18 numaralı çalışma durumları doğru tahmin edilmiştir. Ancak oran olarak bakıldığında çok düşük oranlarla doğru tahmin söz konusudur. Algoritmanın başarılı bir sonuç vermediği gözlemlenmiştir.
- Gaussian Naive Bayes Sınıflandırıcısı Tahmin Matrisi incelendiğinde 1, 4, 5, 6, 8, 11, 12, 15, 17 numaralı çalışma durumlarının yanlış tahmin edildiği görülmüştür. Diğer sınıflara ait verilerin yüksek oranla doğru tahmin edildiği gözlemlenmiştir.

Aktif çalışan sistemlerin zamanla bakımsız bırakılması ya da plansız bakım periyotları maddi ve iş gücü zamanında kayıplara yol açmaktadır. Sistemlerde arıza göstergesi olabilecek durumların yaşanmaması bakımların ileri tarihlere ertelenmesine sebep olurken sistemin hangi bölgesinde arızanın gerçekleşebileceğini bilmek zaman ve maddi açıdan kullanıcıları memnun etmektedir. Bakım zamanının bilinebilmesi ya da o durumun yaşanabileceğinin öncesinden bilinmesi, kullanıcıların planlı davranış sergilemesi ve işlerin zamanında çözülmesi bakımından önem arz etmektedir.

Ağır vasıta hava kompresörü verileri için sürekli veri alma yöntemi ile Naive Bayes Sınıflandırıcı yöntemlerinin başarı oranları görülmektedir. Bu çalışma mekanik makinelerin çalışma anındaki durumlarının incelenmesi için örnek teşkil etmekte ve hava kompresörü arızalarının tahmin edilmesinde makine öğrenmesi algoritmalarının etkili sonuçlar verebildiğini göstermektedir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde verdikleri destekten dolayı Yıldız Pul Otomotiv Motor Parçaları Sanayi AŞ. firması ve Ar-Ge Merkezi çalışma arkadaşlarımızla teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- [1]Ünüvar, E., Gül, E., Aydın, M. Ş. ve Kalyoncu, M., 2019, Investigation of the effect of intake and exhaust valve dimensions on performance for heavy duty vehicle air compressors, The International Aluminium-Themed Engineering and Natural Sciences Conference "IATENS-2019" Seydişehir / Konya, 1-1118.
- [2]Anonymous, 2019a, Heavy vehicle air compressor pictures, <https://moto-press.pl/en/vaden-original.html> [Ziyaret Tarihi: 10.06.2020].
- [3]Bendix, 2004, Advanced troubleshooting guide for air brake compressors: 1-24.
- [4]Bremse, K., 2007, Kompresör yağ taşınımı. Servis Haberleri, Knorr-Bremse Ticari Araç Sistemleri, 1-14.
- [5]Almasi, A., 2009, Reciprocating compressor optimum design and manufacturing with respect to performance, reliability

and cost, World Academy of Science, Engineering Technology, 52, 48-53.

- [6]Servis, R., 2010, Kompresörlerde arıza bulma, <http://rittalservisi.blogspot.com/2010/11/bolum-2-kompresorlerde-ariza-bulma.html>, [Ziyaret Tarihi : 4 Kasım 2019].
- [7]Kompresör,Ü., 2012, Kompresör arızaları, [http://www.unalankompresor.com/kompresor\\_arizalari.html](http://www.unalankompresor.com/kompresor_arizalari.html), [Ziyaret Tarihi : 4 Kasım 2019].
- [8]Prytz, R., Nowaczyk, S., Rögnvaldsson, T. ve Byttner, S., 2013, Analysis of truck compressor failures based on logged vehicle data, 9th International Conference on Data Mining, Las Vegas, Nevada, USA, July 22–25, 2013.
- [9]Townsend, J. ve Badar, M. A., 2018, Impact of condition monitoring on reciprocating compressor efficiency, Journal of Quality in Maintenance Engineering.
- [10]Aydiner, M. Ş., Ünüvar, E., & Kalyoncu, M. Bir Ağır Vasıta Hava Kompresörünün Performansının Deneysel olarak İncelenmesi, International Symposium on Automotive Science and Technology, ISASTECH, 2019.
- [11]Gül, E., Ünüvar, E., & Kalyoncu, M. Ağır Vasıta Hava Kompresörü Arızaları ve Performansa Etkilerinin Deneysel İncelenmesi. Paper presented at the International Symposium on Automotive Science and Technology, 2019.
- [12]Gül, E., Kalyoncu, M. Ağır Vasıta Hava Kompresörü Piston Segmanı Aşınması Durumlarında K-En Yakın Komşu Algoritmasının Sınıflandırma Performansının İncelenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2020, 78-90 . DOI: 10.31590/ejosat.802958.
- [13]Gül, E., Kalyoncu, M., Kula, G., 2020, "Ağır vasıta hava kompresörlerinde piston segmanlarından yağ verme problemlerinin rastgele orman algoritması ile tahmini", The International Conference of Materials and Engineering Technology, Gaziantep.
- [14]Bremse, K., 2008, Health for your air compressor, Service Instructions, Knorr-Bremse 1-2.
- [15]Cömert, B., 2016, Alın bölgesinden alınan elektrookülogram (EOG) işaretleri için ölçüm devresi tasarımı ve sınıflandırılması, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 97.
- [16]Aydın, D. B., 2016, Yenidoğan yoğun bakım ünitesinde idrar yolu enfeksiyonunu tanımlama için yapay sinir ağı tabanlı bir karar destek sisteminin geliştirilmesi Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 67.
- [17]Gül, E., Ağır Vasıta Hava Kompresörü Arızalarının Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2020.



# Enjeksiyon Edilmiş Plastiğin Soğutulması İşleminin Optimizasyon Çalışması

Burak Türkan\*

Bursa Uludağ Üniversitesi, Gemlik Asım Kocabıyık MYO, Makine Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4019-7835), [burakt@uludag.edu.tr](mailto:burakt@uludag.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 16 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 27 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010170)

**ATIF/REFERENCE:** Turkan, B. (2021). Enjeksiyon Edilmiş Plastiğin Soğutulması İşleminin Optimizasyon Çalışması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 801-808.

## Öz

Kalıp içi soğutma işlemlerinde kullanılan simülasyon metodu ile optimum koşulların tespit edilmesi maliyet, süre ve üründe oluşabilecek çatlak ve gerilme riskinin tespiti açısından ciddi bir öneme sahiptir. Bu çalışmada enjeksiyon edilmiş plastiğin soğutulması sürecinin optimizasyon çalışması incelenmiştir. Comsol programı yardımı ile simülasyon metodu kullanılarak optimizasyon çalışması yapılmıştır. Soğutma işleminde farklı parametrelerin (akışkan debisi, yüzey pürüzlülük değeri, kanal içi çap) ürün soğutulması üzerindeki etki yüzdeleri hesaplanmıştır. Optimum soğutma koşulları, yüzey pürüzlülük değeri 2.5 mm, akışkan debisi 8lt/dk ve kanal çapı 1cm olarak elde edilmiştir. Soğutma işleminde en fazla katkıyı akışkan debisi (%83) sağlamıştır. Optimum koşulda kalıbın 300 saniyede 170°C soğuduğu görülmüştür. Sonuç olarak pürüzlülük ve debinin artışı ile kalıbın daha kısa sürede soğuduğu tespit edilmiştir. Ancak kanal çapının artışı ile kalıbın daha geç soğuduğu gözlenmiştir. Son olarak analizden elde edilen sonuçlar ile Taguchi analizinin doğrulama çalışması yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Comsol, Soğutma, Enjeksiyon kalıbı, Taguchi, Optimizasyon.

## Optimization Study of The Process of Cooling Injected Plastic

### Abstract

Determining the optimum conditions with the simulation method used in in-mold cooling processes has a serious importance in terms of cost, time and determination of the risk of cracks and stress that may occur in the product. In this study, the optimization study of the cooling process of the injected plastic was investigated. Optimization study was carried out by using simulation method with the help of Comsol program. The effect percentages of different parameters (fluid flow rate, surface roughness value, channel diameter) on product cooling in the cooling process were calculated. Optimum cooling conditions were obtained as surface roughness value of 2.5 mm, fluid flow rate of 8lt/min and channel diameter of 1cm. Fluid flow rate (83%) contributed the most in the cooling process. It was observed that the mold cooled to 170°C in 300 seconds under the optimum condition. As a result, it was determined that the mold cooled in a shorter time with the increase of roughness and flow rate. However, it was observed that with the increase of the channel diameter, the mold cooled down later. Finally, the validation study of Taguchi analysis was carried out with the results obtained from the analysis.

**Keywords:** Comsol, Cooling, Injection mold, Taguchi, Optimization.

\*Sorumlu Yazar: [burakt@uludag.edu.tr](mailto:burakt@uludag.edu.tr)

## 1. Giriş

Plastikler hafif, dayanıklı ve kolay şekillendirilebilir olmaları nedeniyle çok çeşitli alanlarda kullanılan malzemelerdir. Düşük maliyetlerine ek olarak, plastikleri benzersiz kılan birçok değerli parçaya dönüştürülebilirler. Polimer olarak da adlandırılır ve farklı polimer zincirlerinden oluşan plastikler günlük hayatımızın hemen her alanında farklı form ve yapılarda bulunur (Timur ve Kılıç, 2021)

Plastik malzemesinin enjeksiyon kalıplanma işlemi paketleme ve soğutma gibi birkaç aşamadan oluşur. Soğutma sistemi tasarımı, çevrim süresinin yaklaşık %80'i soğutma aşaması tarafından alındığından oldukça önemlidir. Plastik parçanın bozulmadan dışarı atılabilmesi için soğutma sistemi ısıyı gerekli oranda uzaklaştırabilmelidir. Aynı zamanda termal gerilme gibi istenmeyen kusurların azaltılabilmesi için parçanın soğutulması mümkün olduğunca üniform ve dengeli tutulmalıdır (Qiao, 2006).

Plastik enjeksiyon kalıplama işlemi, termoplastik malzemenin her iki kalıp boşluğunun oluşturduğu kısma yüksek sıcaklıkta enjeksiyonu ile başlamaktadır. Kalıp içine girdikten sonra plastik sıkıştırılır, parçanın geometrisinin deformasyon olmadan korunmasını sağlayan katılma sıcaklığını elde edene kadar soğutulur. Kalıplama döngüsünün süresi, kalıbın metal malzemesi boyunca ısı iletimi yoluyla enjekte edilen plastiğin ısını dağıtmak için yeterli değildir. Böylece, işlemin verimliliğini artırmak için, kalıp, her iki boşlukta yapılmış bir dizi içi boş kanal kullanılarak soğutulur ve bu sayede soğutma sıvısından daha iyi bir ısı alışverişi sağlanır. Plastik enjeksiyon kalıbının soğutma kanallarının tasarımı ile ilgili birkaç olasılık vardır (Mercado-Colmenero vd., 2018).

Kalıp tasarımı seçimi temel olarak üç faktöre bağlıdır: plastik parçanın geometrik özellikleri, kalıbın boyutu ve her bir soğutma sisteminin gerektirdiği üretim teknolojisi. Bu faktörler dikkate alınarak, soğutma sistemleri, parça geometrisine uyarlanmış geleneksel soğutma modelleri veya konformal sistemler aracılığıyla tasarlanabilir. Geleneksel sistemler, geleneksel işleme tekniklerini kullandıklarından, düşük üretim maliyetleri avantajına sahiptir. Bununla birlikte, yalnızca düz geometri ve derin içbükeylikleri olmayan ince parçalarda sınırlı bir uygulamaları vardır. Geleneksel soğutma kanallarından farklı olarak konformal soğutma kanalları, parça ile temas halinde olan kalıp boşluklarının yüzeyi ile soğutma devresi arasında sabit bir mesafe bırakarak karmaşık yüzeylere sahip parçalarda hassas sıcaklık kontrolü elde edilmesini sağlar (Mercado-Colmenero vd., 2018).

Soğutma sistemi tasarımında, tasarım değişkenleri tipik olarak soğutma kanallarının boyutunu, konumunu, düzenini, soğutucunun termal özelliklerini, sıcaklığını ve akış hızını içerir. Bu kadar çok tasarım parametresi söz konusu olduğunda, optimum soğutma sistemini belirlemek için tasarım çalışmasını yapmak son derece zordur. Bu soğutma kanallarının tasarımında simülasyon programları kullanılmalıdır. Analiz sonuçlarının doğrulanması için deneysel çalışma da mutlaka yapılmalıdır. Ürün kalitesinin nümerik olarak tespit edilmesi çok da mümkün değildir. Bu yüzden malzemenin kalite gereksinimleri sağlanmıyorsa tekrarlı deneysel işlemler yapılmalıdır (Qiao 2006, Mercado-Colmenero vd., 2018).

Enjeksiyon kalıbı soğutma sistemleriyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır ve bunlar CAE (Computer Aided Engineering) analizi, optimizasyon, özel üretim teknikleri ve akıllı tasarım

araçları olmak üzere dört araştırma alanında sınıflandırılabilir. Wang vd., (1994) tarafından yapılan ilk çalışmalar, esas olarak soğutma sistemlerinin CAE analizine odaklandı. Bu simülasyon analizleri MoldFlow ve Moldex 3D gibi, kalıp üretilmeden önce soğutma sistemlerinin performansını tahmin etmek için endüstride yaygın olarak kullanılan ticari paketlerle yapılmıştır (Li vd., 2012).

Literatürde özellikle soğutma kanallarının yerleşimi, tasarımı ve analizi ile ilgili yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Daha önce enjeksiyon kalıbı soğutma işlemleri ile ilgili deneysel araştırmalar da yapılmıştır (Turng ve Wang, 1990; Opolski ve Kwon, 1987). Bu çalışmalarda optimum çalışma şartları altında soğutma sisteminin tasarlanması dezavantajı vardır. Bu yüzden bazı yazarlar soğutma sistemlerinin tasarımı için otomasyon tasarımlarını araştırmışlardır. Li (2001), soğutma özelliklerinin tanınması için plastik parçada yeni bir programlama geliştirmiştir. Plastik parçanın karmaşık geometrisini anlaşılır kolay parçalara ayırmıştır. Her geometriye en uygun soğutma işlemini önermişlerdir. Li vd., (2005) çalışmasında soğutma sisteminin tasarım aşamasından kanalların dizilim aşamasına kadar olan kısmının otomasyon hesaplamalarını yapmışlardır. Mercado-Colmenero vd., (2018) yaptıkları çalışmada, soğutulacak plastik parçanın geometrisine dayanarak, soğutma sistemlerinin enjeksiyon kalıplarının tasarımında yeni bir metod geliştirmişlerdir. Malzemenin sağlıklı bir şekilde soğutulmasını sağlamak için işlevsel parametreleri dikkate alarak soğutma işleminin bir analizini gerçekleştirmişlerdir. Guan vd., (2019) enjekte edilen bir parça ile kalıbın yüzey pürüzlülüğü arasındaki etki durumunu araştırmışlardır. Ronkay ve vd., (2017) enjeksiyonla kalıplanmış numunelerin gözenekliliği ile kalıp sıcaklığı arasında ilişki olup olmadığını incelemişlerdir.

Soğutma sistemlerini optimize etmek için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Lam vd., (2004) soğutma kanallarının boyutunu, konumunu ve soğutma sistemlerinin işleme parametrelerini optimize etmek için bir genetik algoritma kullanan bir yöntem geliştirmiştir. Matsumori vd., (2006) soğutma kanallarının optimum şeklini belirlemek için soğutucu akışının etkisini hesaba katan bir teknik geliştirmişlerdir. Xu vd., (2001) özel imalat yöntemlerini kullanarak, soğutma kanalları ve kalıp yüzeyi arasında sabit bir mesafeyi koruyarak daha düzgün soğutma elde etmeyi amaçlayan yöntemler uygulamışlardır.

Tang vd., (1997) geçici soğutma analizine dayalı olarak optimum sistem tasarımı için bir yaklaşım sunmuşlardır. Tasarım kısıtlamaları ve amaç fonksiyonunu, sonlu elemanlar analizi kullanarak çözmüşlerdir. Tasarım duyarlılık analizi (DSA), son yıllarda optimum tasarım sürecinin önemli bir bileşeni olarak önem kazanmıştır (Qiao 2006). Modelin analiz çözümünde, optimum koşullara ulaşmak için doğru yöntem seçilmesi ekonomik kazanç sağlayabilir. Matsumoto ve Tanaka (1993), ısı iletimi problemleri için tasarım değişkenlerine göre bir analiz formülasyonu sunmuşlar ve bunu enjeksiyon kalıplarındaki soğutma kanallarının optimum tasarımına uygulamışlardır.

Literatürde bu alanda yapılan optimizasyon çalışmalarında özellikle CAE (Computer Aided Engineering), Moldflow, Moldex 3D gibi simülasyon programları kullanılmıştır. Optimizasyon çalışmasında Taguchi yaklaşımının ve Comsol programının birlikte kullanılması, diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, bu çalışmanın yenilikçi yönünü ortaya koymaktadır. Çalışmada simülasyon metodu, enjeksiyon kalıbı soğutma sisteminin optimum tasarımı için uygulanmıştır. Ayrıca optimizasyon çalışmalarında akışkan



debisi, yüzey pürüzlülük değeri ve kanal çapının soğuma süresi üzerindeki etkisi aynı anda incelenmemiştir. Bu çalışmada optimum koşulları bulmak için soğutucu akışkan debisinin (2lt/dk, 4lt/dk, 8lt/dk), yüzey pürüzlülük değerinin (0.025mm, 0.25mm, 2.5mm) ve kanal çapının (1 cm, 1.5cm, 2cm) kalıp içerisinde bulunan poliüretan kaplı araç direksiyonunun soğutulması sürecine etkisi incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Boru İçi Akış Denklemleri

Soğutma kanalı içerisindeki kütle korunumu ve momentum denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Comsol, 2021).

$$\frac{\partial A\rho}{\partial t} + \nabla(A\rho u) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla p - f_D \frac{\rho}{2d_h} u|u| \quad (2)$$

Burada  $u$  ortalama akışkanın hızı (m/s),  $A$  borunun kesit alanı (m<sup>2</sup>),  $\rho$  akışkanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>),  $p$  basınç (N/m<sup>2</sup>).

#### 2.1.1. Sürtünme Faktörü Hesabı

Kanal içerisindeki sürtünme faktörünü ( $f_D$ ) hesaplamak için Churchill sürtünme modeli kullanılmaktadır. Bu model laminer akış, türbülanslı akış ve geçiş bölgesi için kullanılmaktadır. İzotermal olmayan boru akış arayüzeyi için Churchill sürtünme modeli eşitlik (3)'de verildiği gibi yazılabilir (Churchill, 1997).

$$f_D = 8 \left[ \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + (A + B)^{-1.5} \right]^{\frac{1}{12}} \quad (3)$$

$$A = \left[ -2.457 \ln \left( \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + 0.27(e/d) \right) \right]^{16} \quad (4)$$

$$B = \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16} \quad (5)$$

$$Re = \frac{\rho u d}{\mu} \quad (6)$$

### 2.2. Isı Transfer Denklemleri

Soğutma kanalı için boru içerisindeki soğutma suyunun enerji denklemi;

$$\rho A c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho A c_p u \nabla T = \nabla A k \nabla T + f_D \frac{\rho A}{2d_h} |u|^3 + Q_{wall} \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $c_p$  akışkanın özgül ısısı (J/kgK),  $T$  soğutma suyunun sıcaklığı (K),  $k$  ısı iletim katsayısı (W/mK),  $Q_{wall}$  (W/m) çevresinde kalıp bloğuna olan ısı değişimi miktarıdır (Comsol, 2021).

Katı bloğundaki ve kalıplanmış poliüretan kısmındaki ısı transferi denklemi aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$\rho c_p \frac{\partial T_2}{\partial t} = \nabla k \nabla T_2 \quad (8)$$

Burada  $T_2$  katı sıcaklığı (K),  $k$  katının ısı iletim katsayısı (W/mK),  $\rho$  katının yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>) ve  $c_p$  katının özgül ısısıdır (J/kgK). İki eşitlikten faydalanılarak boru içerisindeki

akışkandan kalıp bloğuna olan ısı değişim miktarı ( $Q_{wall}$ ) eşitlik (9) yardımı ile hesaplanabilir (Comsol, 2021).

$$Q_{wall} = hZ(T_{\infty} - T) \quad (9)$$

Burada  $h$  ısı taşınım katsayısı (W/m<sup>2</sup>K),  $Z$  boru çevresi (m) ve  $T_{\infty}$  borunun dışındaki sıcaklık (K) değeridir.  $h$  ısı taşınım katsayısı Nusselt sayısı ve akışkanın termofiziksel özelliklerine bağlı olarak eşitlik (10)'da verildiği gibi hesaplanır (Incropera ve DeWitt, 2001).

$$h = Nu \frac{k}{d_h} \quad (10)$$

Burada  $k$  akışkanın ısı iletim katsayısı (W/mK),  $Nu$  Nusselt sayısı,  $d_h$  hidrolik çap (m). Eğer akış laminer ise dairesel kanal içi hesabında  $Nu=3.66$ , türbülanslı ise Nusselt sayısı,

$$Nu = \frac{(f_D/8)(Re - 1000)Pr}{1 + 12.7(f_D/8)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)} \quad (11)$$

Bu şekilde yazılabilir. Burada verilen Prandtl sayısı eşitlik (12) yardımı ile hesaplanabilir (Incropera ve DeWitt, 2001).

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k} = \frac{\gamma}{\alpha} \quad (12)$$

### 2.3. Doğal Taşınım Denklemleri

Kalıptan aynı zamanda dış ortama da doğal taşınım ile ısı transferi gerçekleşmektedir. Doğal taşınım akışkan hareketi içerisindeki kaldırma kuvvetleri ile oluşur. Kaldırma kuvveti akışkan içindeki yoğunluk farkından meydana gelir. Taşınım ile ortama aktarılan ısı transferi miktarı şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$Q = hA(T_y - T_{\infty}) \quad (13)$$

Burada  $h$  ısı taşınım katsayısı (W/m<sup>2</sup>K),  $A$  yüzey alanı (m<sup>2</sup>),  $T_y$  yüzey sıcaklığı (K) ve  $T_{\infty}$  dış ortam sıcaklığı (K). Isı taşınım katsayısını hesaplamak için Rayleigh boyutsuz sayısının hesaplanması gerekir. Rayleigh sayısı Grashof sayısı ile Prandtl boyutsuz sayılarının çarpımına eşittir. Kullanılan Grashof sayısı şu şekilde hesaplanmaktadır (Incropera ve DeWitt, 2001).

$$Gr = \frac{g\beta L_k^3 (T_y - T_{\infty})}{\gamma^2} \quad Ra = GrPr \quad (14)$$

Burada  $g$  yerçekimi ivmesi (m<sup>2</sup>/s),  $L_k$  karakteristik uzunluk (m) ve  $\gamma$  kinematik viskozite (m<sup>2</sup>/s). Rayleigh sayısının aralığına göre Nusselt sayısı elde edilir. Dikey levhada Rayleigh değerleri için Churchill ve Chu tarafından önerilen bağıntılar aşağıda verilmiştir (Incropera ve DeWitt, 2001).

$$Nu = 0.68 + \frac{0.670Ra^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad Ra \leq 10^9 \quad (15)$$

$$Nu = 0.825 + \frac{0.387Ra^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \quad Ra \geq 10^9 \quad (16)$$

Isı transferi miktarını hesaplamak için bilinmesi gereken ısı taşınım katsayısını hesaplamak için ise eşitlik (17) kullanılır (Incropera ve DeWitt, 2001).

$$Nu = \frac{hL_k}{k} \quad (17)$$

Burada  $L_k$  karakteristik uzunluk (m),  $k$  havanın ısı iletim katsayısı (W/mK),  $h$  doğal ısı taşınım katsayısı (W/m<sup>2</sup>K).

Burada dikey levha için karakteristik uzunluk ( $L_k$ ) levhanın uzunluğu alınır.

Ortamdaki akışkana göre sıcak veya soğuk dikey levhada yerçekimi kuvveti levha ile aynı doğrultudadır. Yoğunluk farkından dolayı kaldırma kuvveti akışkan hareketini aşağıya veya yukarıya doğru yönlendirir. Eğer levha yatay ise kaldırma kuvveti yüzeye dik yöndedir. Akışım ısı geçişi ve biçimi yüzeyin aşağıya veya yukarıya bakmasına, ısıtılıyor veya soğutuluyor olmasına bağlıdır. Yatay yüzeyler için McAdams, (1954) tarafından önerilen bağıntı kullanılmaktadır. Burada karakteristik uzunluğun tanımı şu şekilde yapılmaktadır;

$$L_k = \frac{A}{\Ç} \quad (18)$$

Burada A levha yüzey alanı ( $m^2$ ),  $\Ç$  çevre uzunluğu (m). Isıtılan bir levhanın üst yüzeyi veya soğutulan bir levhanın alt yüzeyi için;

$$Nu = 0.54Ra^{1/4} \quad 10^4 \leq Ra \leq 10^7 \quad (19)$$

$$Nu = 0.15Ra^{1/3} \quad 10^7 \leq Ra \leq 10^{11} \quad (20)$$

Eşitlikleri kullanılır. Isıtılan bir levhanın alt yüzeyi veya soğutulan bir levhanın üst yüzeyi için;

$$Nu = 0.27Ra^{1/4} \quad 10^5 \leq Ra \leq 10^{10} \quad (21)$$

Eşitliği kullanılır (Incropera ve DeWitt, 2001).

## 2.4.Taguchi Analiz Denklemleri

Maksimum, minimum ve nominal performans değerleri için eşitlik (22), (23) ve (24) kullanılmaktadır (Taguchi, 1990).

$$S/N_{max} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (22)$$

$$S/N_{min} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (23)$$

$$S/N_{nom} = 10 \log \left( \frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \quad (24)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (25)$$

Burada n bir denemedeki test sayısı,  $y_i$  performans karakteristikleri için gözlenen deneysel verinin i. değeri,  $\bar{y}$  gözlem değerlerinin ortalaması ve  $s^2$  gözlem değerlerinin varyansdır.

Simülasyondan elde edilen veriler Taguchi yöntemi ile yapılan analiz sonucunda aynı zamanda tahmin edilebilir.

$$S/N' = S/N_{avg} + \sum_{i=0}^p (S/N_i - S/N_{avg}) \quad (26)$$

Burada;  $S/N'$  tahmini  $S/N$  oranı,  $S/N_{avg}$  tüm  $S/N$  oranlarının ortalaması, p faktör sayısı,  $S/N_i$  her bir faktörün optimum seviyedeki  $S/N$  oranıdır.

Hesaplanan tahmini  $S/N'$  oranı eşitlik (27)'de kullanılarak optimum analiz kombinasyonu için tahmini ölçüm sonuç değeri elde edilir. Daha sonra bu değer ile simülasyon sonucu karşılaştırılarak, Taguchi analizi ile simülasyon sonuçlarının uyumlu olup olmadığı araştırılabilir.

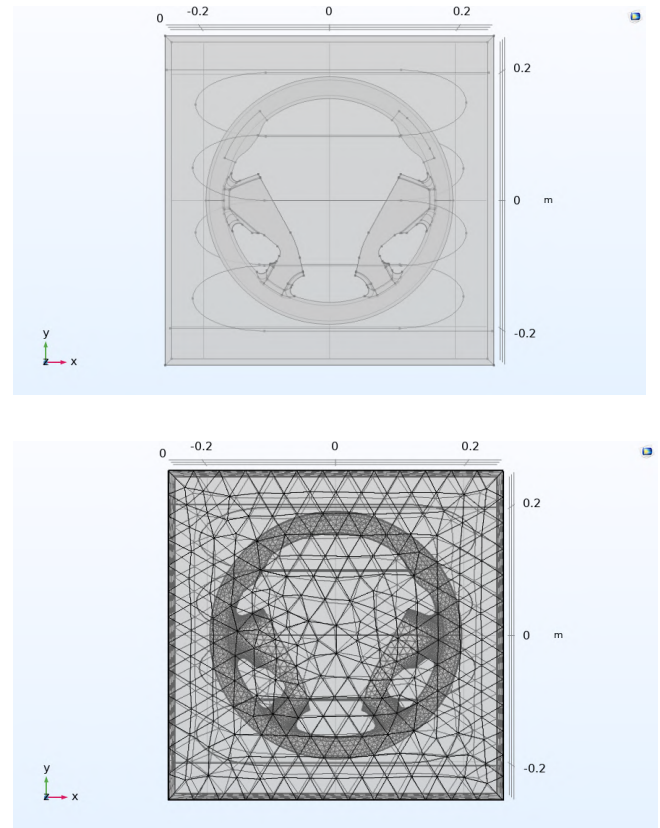
$$\text{Tahmin edilen değer} = 10^{-\frac{S/N'}{20}} \quad (27)$$

## 2.5. Model Geometrisi ve Ağ Yapısı

Analizde kullanılan kalıp soğutulmasında kullanılan model ( $0.5m \times 0.15m \times 0.15m$ ) ve ağ yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Kalıp ilk sıcaklığı 473.15K ve akışkanın giriş sıcaklığı 293.15K olarak kabul edilmiştir. Kalıp malzemesi alüminyum ve direksiyonun kaplama malzemesi olarak ise Poliüretan seçilmiştir. Analizlere başlamadan önce ağdan (mesh) bağımsızlık çalışması yapılmıştır. 97708 ağ sayısında %1 in altında değere ulaşıldığı için 89354 ağ sayısı analizlerde kullanılmıştır (Çizelge 1). Malzemelerin termofiziksel özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Ağdan (mesh) bağımsızlık çalışması

Ağ (mesh) sayısı	89354	97708
Sıcaklık (°C)	55.70	55.77



Şekil 1. Ürün geometrisi ve ağ yapısı

Çizelge 2. Malzemelerin termofiziksel özellikleri

	Özgül ısı (J/kgK)	Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	Isı iletim katsayısı (W/mK)
Alüminyum	904	2700	237
Poliüretan	1540	1250	0.32

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Taguchi Analizi Sonuçları

Bu çalışmada kalıp soğutma sürecine etki eden parametreleri (yüzey pürüzlülük değeri, akışkan debisi ve kanal çapı) optimize etmek için Taguchi metodu kullanıldı. Analizlerde soğutucu akışkanın debileri 2 lt/dk, 4 lt/dk ve 8 lt/dk, yüzey pürüzlülük değerleri 0.025 mm, 0.25 mm ve 2.5 mm, soğutucu kanal çapları ise 1 cm, 1.5 cm ve 2 cm alınmıştır (Çizelge 3). Enjeksiyon kalıplı plastiğin soğutulması parametrelerinin seviyelerini temsil eden örneklerin sayısal değerleri ve Taguchi L9 ortogonal dizi kullanılarak seçilen simülasyon sırası Çizelge 4’de ifade edilmiştir. Burada verilen değerler Minitab programına girilmiştir. 9 farklı değer ile Taguchi analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler direksiyonun ortalama sıcaklığının 300K’e ulaşma süresi dikkate alınarak yapıldı. Ortalama sıcaklığın 300K’e ulaşma süresi minimum amaç fonksiyonu olarak tanımlandı.

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan soğutma parametreleri ve seviyeleri

Parametre	Serbestlik derecesi	Level 1	Level 2	Level 3
Pürüzlülük (mm)	2	0.025	0.25	2.5
Debi (lt/dk)	2	2	4	8
Kanal çapı (cm)	2	1	1.5	2
Toplam SD	6			

Çizelge 4. Taguchi ortogonal L9 dizisi kullanılarak seçilen parametreler ve seviyeleri

Ortogonal dizi	Analiz no	Pürüzlülük değeri	Debi	Kanal çapı
111	1	0.025	2	1
122	2	0.025	4	1.5
133	3	0.025	8	2
212	4	0.25	2	1.5
223	5	0.25	4	2
231	6	0.25	8	1
313	7	2.5	2	2
321	8	2.5	4	1
332	9	2.5	8	1.5

#### 3.1.1. Soğutma için Optimizasyon Çalışması

Plastik enjeksiyonlu direksiyonun soğutulması işleminde 9 farklı senaryoya ile hesaplanan soğuma süresi (saniye) verileri Minitab 18 programında Taguchi analiz modülüne girilmiştir. Sonrasında Taguchi analiz metodu kullanılarak ANOVA sonuçları elde edilmiştir. Çizelge 5 elde edilen soğuma süresi ve hesaplanan S/N oran değerlerini göstermektedir. En küçük soğuma süresi değeri en büyük ortalama S/N oranında elde edilmektedir. Şekil 2a’da hesaplanan ortalama S/N oranlarının analizine göre optimum koşul olan en az soğuma süresi, en büyük ortalama S/N oranlarının elde edildiği 2.5mm yüzey pürüzlülük değeri, akışkan debisi 8lt/dk ve kanal çapı 1cm olarak elde edilmiştir. ANOVA metodu bize tüm etmenlerin önemini ve birbiri ile olan etkileşimlerini önceden incelememize imkan sağlar. Bu çalışmada parametrelerin birer birer katkısını elde etmek için ortalama S/N değerlerini kullanarak ANOVA

yöntemi incelendi. Çizelge 6’de verilen parametrelerin soğutma süresi üzerindeki etki oranları ile ANOVA sonuçları sunulmuştur. Bu yüzde oranları Şekil 2b’de ifade edilmiştir. Soğutma sonunda yüzey pürüzlülük etkisinin yaklaşık %1, kanal çapı etkisinin %14 ve akışkan debisi etkisinin ise %83 olduğu elde edilmiştir. Bu sonuca göre soğuma süresine etki eden parametrelerinin önem sırası akışkan debisi>kanal çapı>yüzey pürüzlülük değeri olarak elde edilmiştir. Soğutma sürecinde en önemli parametre akışkan debisidir. Çizelge 7’de S/N oranı cevap sonuç tablosuna göre de en önemli (1 numaralı) parametrenin akışkan debisi olduğu görülmektedir. Kanal içi soğutmada en önemli parametrenin akışkan debisi olduğunu Türkan vd., (2020) parametrik çalışmalarında da elde etmişlerdir. En kısa sürede kalıp içerisindeki direksiyonun soğutulmasında akışkan debisi oldukça etkilidir.

Çizelge 5. Soğutma sürecindeki süre sayısı ve hesaplanan S/N oranı

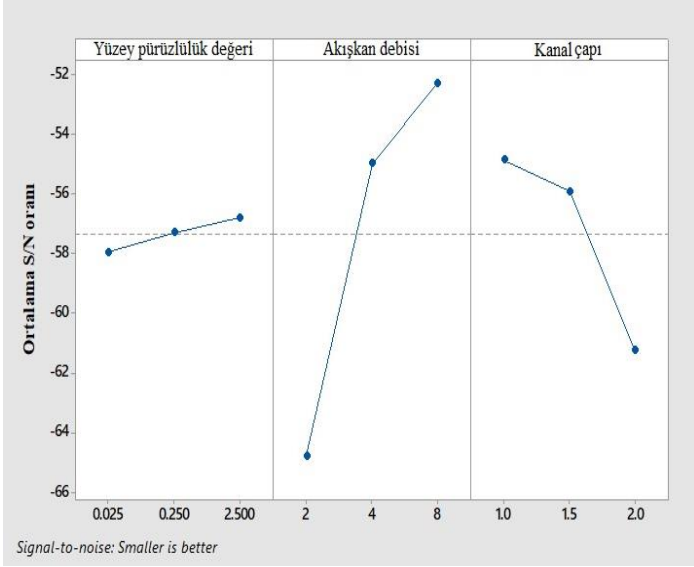
Ortogonal dizi	Süre	S/N oranı	Standart sapma
111	1500	-63.5315	2.88675
122	900	-59.1138	2.64575
133	650	-56.2806	2.88675
212	1600	-64.0951	2.51661
223	1000	-60.0145	2.88675
231	360	-51.2464	5.00000
313	2750	-68.7867	5.00000
321	550	-54.8336	2.88675
332	350	-50.8820	5.00000

Çizelge 6. Soğutma süresine ait S/N oranları için ANOVA tablosu

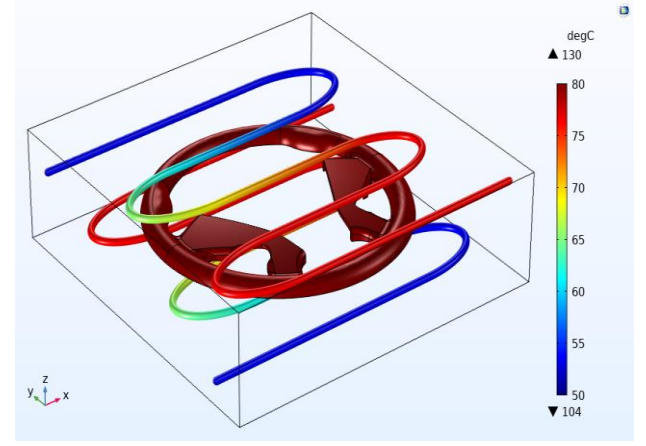
Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Yüzey pürüzlülük değeri	2	3.671	3.671	1.836	0.86
Akışkan debisi	2	243.365	243.365	121.682	57.6
Kanal çapı	2	42.244	42.244	21.122	9.91
Residual	2	4.265	4.265	2.132	
Error					
Total	8	293.544			

Çizelge 7. S/N oranı için sıralama tablosu

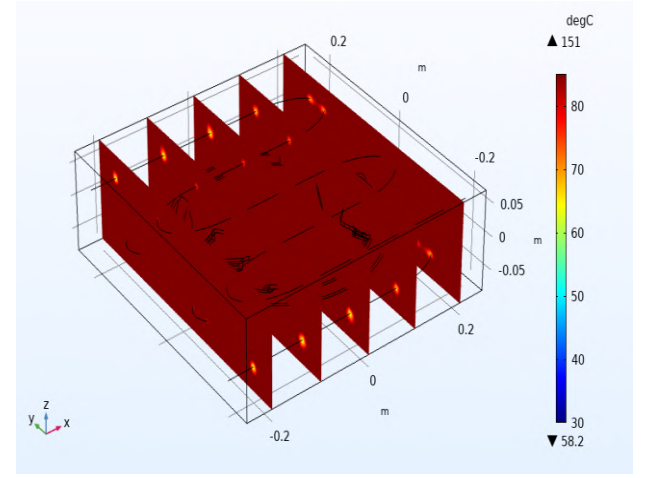
Level	Yüzey pürüzlülük değeri	Akışkan debisi	Kanal çapı
1	-59.64	-65.47	-56.54
2	-58.45	-57.99	-58.03
3	-58.17	-52.80	-61.69
Delta	1.47	12.67	5.16
Rank	3	1	2



(a)

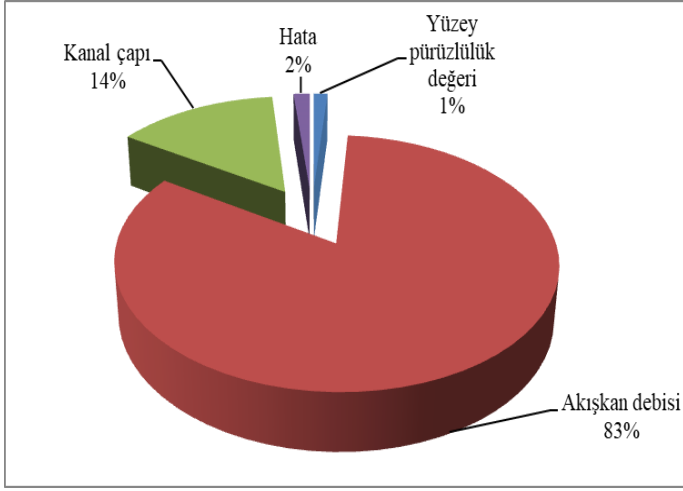


(a)



(b)

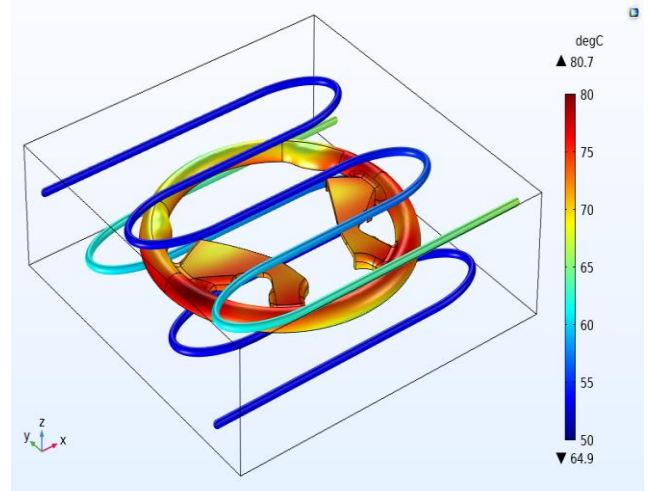
Şekil 3. 60. saniyede a) Kalıp içi kanal ve silindirin sıcaklık değişimi b) Kalıbın sıcaklık değişimi



(b)

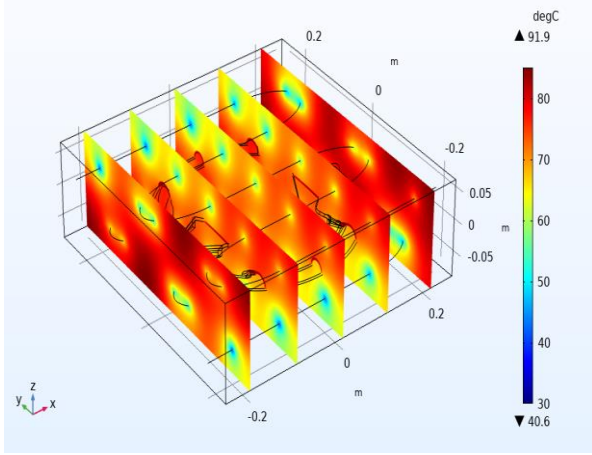
Şekil 2. a) Farklı soğutma parametreleri için soğuma süresinin S/N oranı b) Parametrelerin soğuma süresi üzerindeki etki yüzdeleri

Optimizasyon işlemi sonunda optimum koşul olarak elde edilen 2.5mm yüzey pürüzlülük değeri, 8lt/dk akışkan debisi ve 1cm kanal çapı için tekrar analiz yapılmıştır. 60., 120. ve 240. saniyede kalıbın içinin, dışının, kanalların ve direksiyonun sıcaklık değişiminin görsel simülasyon sonuçları Şekil 3-4-5'de verilmiştir. Başlangıçta soğutma suyunun sıcaklığı artarken direksiyon simidinde zamanla soğuma gerçekleştiği için bir süre sonra azalma görülmüştür. Direksiyonda hızlı soğuma soğutucu sıvının kanal içerisine girdiği kısımda gerçekleşmiştir. Soğutucu sıvı 120. saniyede 65°C 240. saniyede 50°C'ye ulaşmıştır. Soğutmanın 120. saniyesinde direksiyonda homojen sıcaklık dağılımı görülmektedir. Ancak 240. saniyede malzemede homojen sıcaklık dağılımı gerçekleşmiştir.



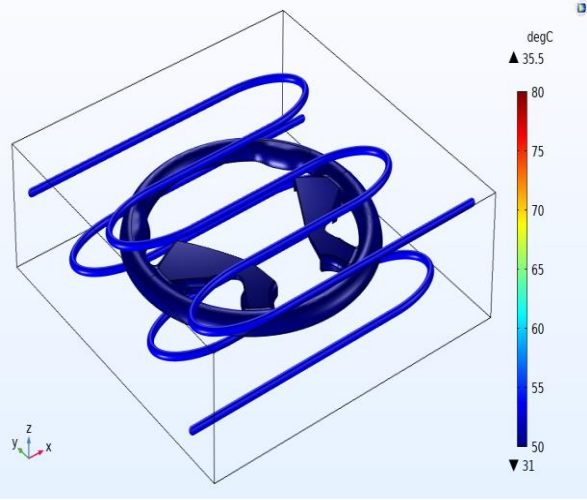
(a)



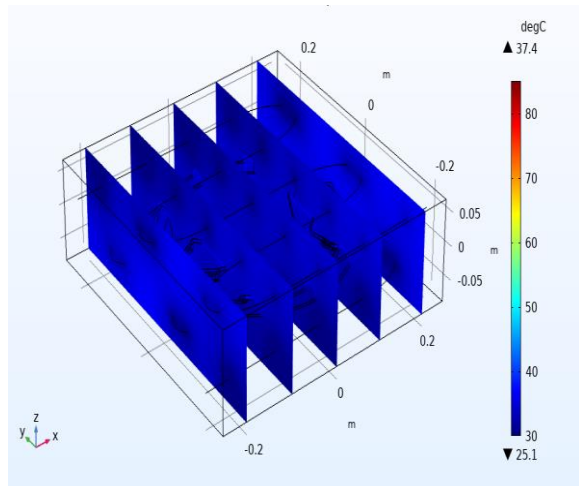


(b)

Şekil 4. 120. saniyede a) Kalıp içi kanal ve silindirin sıcaklık değişimi b) Kalıbın sıcaklık değişimi



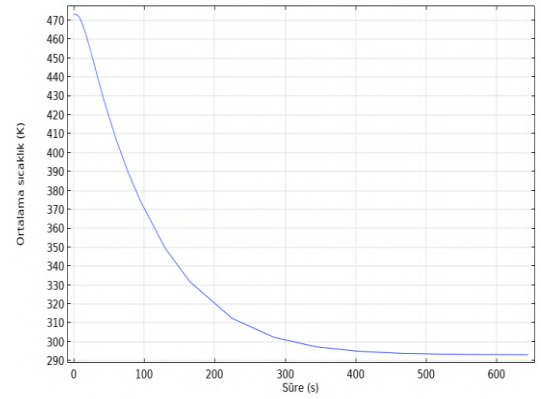
(a)



(b)

Şekil 5. 240. saniyede a) Kalıp içi kanal ve silindirin sıcaklık değişimi b) Kalıbın sıcaklık değişimi

Şekil 6'da poliüretan kaplı araç direksiyonunun soğutulması işlemi sırasında ortalama yüzey sıcaklığının süre ile değişim grafiği verilmiştir. Soğuma işleminin yaklaşık 300. Saniyesinde ortalama yüzey sıcaklığının 300K e ulaştığı görülmektedir. Soğuma işleminin ilk 100 saniyesinde sıcaklık hızlı bir şekilde 100K azalmıştır. Sonra soğuma işleminin yavaşladığı görülmektedir. Burada önemli olan homojen soğutmanın gerçekleştirilmesidir. Bu durumun gözlemlenebilmesi için ürün kesitinde analiz sonuçlarının görsel olarak incelenmesi gerekmektedir. Soğuma süresinin minimize edilmesi ürün kalitesinin artırılması ve homojen soğuma sağlanması açısından önemlidir ( Hassan vd., 2008).



Şekil 6. Poliüretan kaplı direksiyonun ortalama yüzey sıcaklığının süre ile değişimi

### 3.2. Doğrulama Çalışması

Simülasyondan elde edilen soğuma süresi Taguchi yöntemi ile yapılan analiz sonucunda aynı zamanda tahmin edilebilir. Çizelge 8'de tahmini S/N oranları kullanılarak optimum soğutma koşulu olan 2.5mm yüzey pürüzlülük değeri, 8lt/dk akışkan debisi ve 1 cm kanal çapı için Taguchi metodu kullanılarak elde edilen tahmini ve simülasyon değerleri verilmiştir. Simülasyon ve Taguchi metodu (tahmini değer) ile elde edilen değerlerin birbirine yakın olarak değiştiği görülmektedir.

Çizelge 8. Sonuç çıktısına ait tahmini ve simülasyon değerleri

Çıktı değerleri	Tahmini S/N oranı	Tahmini değer	Simülasyon değeri	Hata oranı (%)
Soğuma süresi (saniye)	-50.00	327	320	2.14

### 4. Sonuç

Bu çalışmada kalıp içi poliüretan kaplı araç direksiyonunun soğutulması için optimum koşullar ANOVA analizi yardımı ile araştırılmıştır. Soğutma parametreleri olarak akışkan debisi, yüzey pürüzlülük değeri ve kanal çapı alınmıştır. Taguchi analizi için seçilen 9 farklı analiz seti uygulanmıştır. Her bir analiz sonucu için soğutma süresi çıktı değerleri hesaplanmıştır. Minimum değerlere sahip olan soğutma süresi için optimum koşullar 2.5mm yüzey pürüzlülük değeri, akışkan debisi 8lt/dk ve kanal çapı 1cm olarak elde edilmiştir

Taguchi analizinden elde edilen sonuçların doğrulama çalışması yapıldı. Optimum soğutma koşuluna ait parametreler

için analiz yapıldı. Analizden elde edilen çıktı değerleri ile Taguchi analizinden elde edilen tahmini değerler karşılaştırıldı ve sonuçların birbirine yakın olduğu görüldü. Bu sonuçlara göre Taguchi metodunun soğutma sürecinin optimizasyonun da uygun bir yaklaşım olduğu görülmüştür. Literatürde yüzey pürüzlülüğü için yapılan çalışmada Taguchi yönteminin etkili olduğu tespit edilmiştir. (Mersni vd., 2018).

Karmaşık optimizasyon problemleri ürün prototipi üretilmeden simülasyon programı yardımı ile hızlı ve maliyetsiz bir şekilde çözülebilir. Ayrıca bu durum çalışma koşullarına hızlı bir genel bakış sağlar. Modelleme için ayrıca değişken olarak çeşitli seçimler (çap, kanal sayısı, kanal düzeni, akışkan hızı, geometrik boyutlar, akışkan türleri, giriş sıcaklıkları vb.) oluşturulabilir.

Yapılan çalışma kalıp içi soğutma konusunun daha iyi anlaşılması için endüstriyel ve akademik kullanıcılara kolaylık sağlamıştır. Elde edilen sonuçlara göre kısa zamanda ürünün soğumasına etki eden parametrelerin yüzdesel değerleri kısa zamanda endüstriyel kullanıcılara sunulabilir. Bu çalışma endüstriyel kalıp içi ürün soğutma sistemlerinin imalatında ve ürünlerin optimum soğutma koşullarının tespit edilmesinde kullanılabilir. Bu sayede ürünün kalitesi artırılarak üretimde kullanılan enerjiden tasarruf edilmesi sağlanabilir. Bu şekilde deney için süre ve maliyetten tasarruf edilmiş olur. Mercado-Colmenero vd., (2018) üretim sürecinin verimliliğini artırmak ve maliyetlerini düşürmek için kalıp yüzey sıcaklığının düşürülmesinin önemli olduğunu ifade etmişlerdir.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre enjekte edilen plastik kaplama malzemesinin soğutulması üzerinde en etkili parametrenin soğutma kanalının debisi olduğu tespit edilmiştir. Kanal içi yüzey pürüzlülük değeri ile akış debisinin artışı soğuma süresini azaltırken kanal çapındaki artış soğuma süresini uzatmıştır. Bunun nedeninin kanal çapının artmasının akışkanın hızını azaltarak ısı transferi miktarını düşürmesi olarak söylenebilir. Bu çalışmadan elde edilen sonuca benzer olarak, kanal çapının optimizasyon problemlerinde minimize edilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Mercado-Colmenero vd., 2018). Yüzey pürüzlülüğünün de kalıp tasarımında önemli bir parametre olduğu Guan vd., (2019) tarafından tespit edilmiştir.

## Kaynakça

Churchill, S.W. (1997). Friction factor equations span all fluid flow regimes, *Chem. Eng.*, vol.84, no. 24, p.91.

Cmsol Multiphysics 5.3. (2021). Pipe Flow Module User's Guide, Heat Transfer Module.

Guan, B., Cherrill, M., Pai, J.H., Priest, C. (2019). Effect of mould roughness on injection moulded poly (methyl methacrylate) surfaces: Roughness and wettability, *Journal of Manufacturing Processes*, 48, pp.313–319. doi: 10.1016/j.jmapro.2019.10.024.

Hassan, H., Regnier, N., Lebot, C., Pujos, C., Defaye, G. (2008). Effect of cooling system on the polymer temperature and solidification during injection molding, *Applied Thermal Engineering*. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2008.08.011.

Incropera, F.P., DeWitt, D.P. (2002). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 5th ed., John Wiley & Sons, pp. 486–487.

Lam, Y.C., Zhai, L.Y., Tai, K., Fok, S.C. (2004). An evolutionary approach for cooling system optimization in plastic injection moulding. *Int. J. of Pro. Research*, 42(10):2047–61, doi: 10.1080/00207540310001622412.

Li, C.L. (2001). A feature-based approach to injection mould cooling system design. *Computer Aided Des.*, 33(14), pp.1073–90. doi: 10.1016/S0010-4485(00)00144-5.

Li, C. G., Li, C.L., Liu, Y., Huang, Y. (2012). A new C -space method to automate the layout design of injection mould cooling system, *Comput Aided Des.*, 44:811–23. doi: 10.1016/j.cad.2012.01.005.

Li, C.L., Li, C.G., Mok, A.C.K. (2005). Automatic layout design of plastic injection mould cooling system, *Computer-Aided Design*, 37(7), pp.645–662. doi:10.1016/j.cad.2004.08.003.

Matsumori, T., Yamazaki, K., Matsui, Y. (2006). Optimization of cooling pipe system of plastic molding. In: IFIP international federation for information processing, system modeling and optimization, 199, 161–8. doi: 10.1007/0-387-33006-2\_15.

Matsumoto, T., Tanaka, M. (1993). Optimum design of cooling lines in injection moulds by using boundary element design sensitivity analysis, *Finite Elements in Analysis and Design*, 14:177–85.

Mersni, W., Boujelbene, M., Salem, S.B., Alghamdi, A.S. (2018). Optimization of the surface roughness in ball end milling of titanium alloy Ti-6Al-4V using the Taguchi Method. *Procedia Manuf.*, 20:271–6. doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.040.

McAdams, W.H., (1954). *Heat Transmission*, 3<sup>rd</sup> ed., McGraw Hill, New York, Bölüm 7.

Mercado-Colmenero, J.M., Rubio-Paramio, M. A., Marquez-Sevillano, J.J., Martin-Doñate, C. A. (2018). New method for the automated design of cooling systems in injection molds, *Computer-Aided Design*, 104, pp.60–86. doi:10.1016/j.cad.2018.06.001.

Opolski, S.W., Kwon, T.W. (1987). Injection molding cooling system design. In: ANTEC'86, pp. 264–8.

Qiao, H. (2006). A systematic computer-aided approach to cooling system optimal design in plastic injection molding, *International Journal of Mechanical Sciences*, 48(4):430–9. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2005.11.001.

Ronkay, F., Molnar, B., Dogossy, G. (2017). The effect of mold temperature on chemical foaming of injection molded recycled polyethylene-terephthalate, *Thermochimica Acta*, 651, pp. 65–72. doi: 10.1016/j.tca.2017.02.013.

Taguchi, G. 1990. *Introduction to quality engineering*. Asian Productivity Organization, Tokyo.

Tang, L.Q., Chassapis, C., Manoochehri, S. (1997). Optimal cooling system design for multi-cavity injection molding. *Finite Elements in Analysis and Design*, 26:229–51.

Timur, M., Kılıç, H. (2021). Analysis of the Manufacturing Process Using Polypropylene by Plastic Injection Molding Method, *European Journal of Science and Technology*, (27), 832-836. doi: 10.31590/ejosat.993601.

Turng, L.S., Wang, K.K. (1990). A computer-aided cooling-line design system for injection molds, *J Eng Ind-Trans ASME*, 112(2), pp.161–167. doi: 10.1115/1.2899560.

Türkan, B., Etemoğlu, A. B., Çeçil, Ü. (2020). Poliüretan Kaplı Araç Direksiyonunun Soğutulmasının Simülasyonu, *El-Cezeri*, 7 (2) , 592-602. doi: 10.31202/ecjse.681520.

Wang, K. K. (1994). Twenty years of CIMP research towards CAE for injection molding, *Advances in Computer-Aided Engineering (CAE) of Polymer Processing*, ASME, 1–5.

Xu, X., Sachs, E., Allen, S. (2001). The design of conformal cooling channels in injection molding tooling. *Polymer Science and Engineering*, 41(7), 1265–79. doi: 10.1002/pen.10827.



# Kimyasal Gübrelerle Birlikte Uygulanan Vermikompost Kaynaklı Hümik Maddelerin Biberin Kısa Dönem Gelişimi ve Mineral Beslenmesine Etkisi

Cennet Yaylacı<sup>1\*</sup>, İbrahim Erdal<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Isparta, (ORCID:0000-0002-0212-917X), [cyaylaci26@gmail.com](mailto:cyaylaci26@gmail.com)

<sup>2</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Isparta, (ORCID: 0000-0001-8177-948X)

(İlk Geliş Tarihi 11 Kasım 2021 ve Kabul Tarihi 15 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008881)

**ATIF/REFERENCE:** Yaylacı, C. & Erdal, İ. (2021). Kimyasal Gübrelerle Birlikte Uygulanan Vermikompost Kaynaklı Hümik Maddelerin Biberin Kısa Dönem Gelişimi ve Mineral Beslenmesine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 809-814.

## Öz

Bu çalışmada vermikomposttan elde edilen hümik asit, fulvik asit ve hümik+fulvik asidin biberin gelişimi ve mineral beslenmesine etkisini incelemek amaçlanmıştır. Gübreli (300 ppm N, 200 ppm P, 200 ppm K, 5 ppm Zn, 10 ppm Fe) ve gübresiz koşullarda yürütülen denemede hümik maddelerin iki dozu (0 ve 1000 ppm) kullanılmıştır. Deneme sonunda bitkilerin kuru ağırlık değerleriyle N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn ve Mn konsantrasyonları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hümik madde ve kimyasal gübre uygulamalarının bitkinin kuru ağırlığına anlamlı bir etkisi olmamıştır. Fakat hümik madde uygulamaları biber bitkisinin mineral beslenmesi üzerine olumlu etkiler göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Humik maddeler, besin elementi alımı, bitki gelişimi

## The Effect of Combined Application of Vermicompost-Derived Humic Substances and Chemical Fertilizers on Short Time Growth and Mineral Nutrition of Pepper

### Abstract

Humic acid, fulvic acid and humic+fulvic acid obtained from vermicompost were used in the study to examine the effect of humic substances on the growth and mineral nutrition of pepper plants. Two levels (0 and 1000 ppm) of humic substances were applied with and without chemical fertilizers. After plants were harvested, dry weight and N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn and Mn concentrations were determined. According to the results obtained, humic substances and chemical fertilizer applications did not have a significant effect on the dry weight of the plant. However, humic substances applications showed positive effects on mineral nutrition of pepper plant.

**Keywords:** humic substances, nutrient uptake, plant growth



## 1.Giriş

Geleneksel tarımdaki bilinçsiz gübre kullanımı çevresel bozulmalara neden olmakta, uzun vadede toprak verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Sentetik gübrelerin toprağa olan zararını minimize etmenin en etkili yolu, toprak verimliliğinin organik bileşiklerle artırılmasıdır. Bu yönden toprak organik maddesi, tarımsal anlamda oldukça önem arz etmektedir (Halpern ve ark., 2015). Toprakta sürekli bir ayrışma içerisinde olan organik madde, toprağın mevcut su ve besin maddelerini koruyarak bitki gelişimini desteklemektedir (Lehmann ve ark., 2015). Toprak organik maddesi; strüktür oluşumuna katkı sağlamak, su tutma ve havalanma kapasitesini düzenlemek, yüzeyde kabuk tabakasının oluşumunu azaltmak gibi faydalarıyla toprak fiziksel özelliklerini iyileştirmekte ve bitki gelişimine iyi bir ortam hazırlamaktadır. Bunların yanında bitki besin elementi miktarlarını arttırmak, tuzluluğa ve pH değişimlerine karşı tamponlama kapasitesini geliştirmek, tarım ilaçları ve ağır metaller gibi birçok kirleticinin olumsuz etkilerini azaltmak, mikroorganizmalara karbon ve enerji kaynağı olmak gibi birçok yönden fayda sağlamaktadır (Taban ve ark., 2013). Organik maddenin büyük bir kısmını ise hümik maddeler oluşturmaktadır. Geniş bir pH aralığında tampon özelliği gösteren hümik maddelerin, toprakta katyon değişim kapasitesi oldukça yüksektir. Bu sayede metaller, hümik asitler ile şelat oluşturabilmektedir. Şelatlama ile de besin elementlerinin kaybı önlenerek, alına bilirliliği artırılmaktadır (Akıncı, 2011; Ünver ve özbek, 2011; Erdal ve ark., 2014). Hümik asitler; tohum, kök sistemi ve üst aksamı uyarmakta olup, bu sayede verimin artmasında önemli bir etken haline gelmektedir. Hümik asit içeren gübreler özellikle organik madde içeriği düşük topraklarda daha etkili olmakla birlikte doku besin dengesi, besinin bitkide transferi, kök gelişimi gibi birçok konuda olumlu sonuçlar meydana getirmektedir (Arduç, 2016). Hümik aside göre daha küçük moleküler yapıda olan fulvik asit, kolayca parçalanır. Bu yüzden hümik asit kadar kalıcı olmamaktadır. Hümik asit, yavaş parçalanarak toprakta daha uzun süre kalması nedeniyle toprak organik maddesini arttırmak için fulvik asitlere göre daha çok tercih edilmektedir (Erol, 2011). Hümik maddelerin, bitkilerin mineral beslenmesi ve gelişimi üzerindeki olumlu etkileri yapılan birçok çalışma ile ortaya konmuştur (Atiyeh ve ark., 2002; Erdal ve ark., 2014; Canellas ve ark., 2015 ). Yapılan bu çalışmanın amacı hümik madde uygulamalarının erken dönemdeki biber bitkisinin mineral beslenmesine olan etkisini incelemektir.

## 2.Materyal ve Yöntem

Belirlenen ağırlıklardan yararlanarak vermikompostun HA, FA ve HFA oranları hesaplanmıştır. Bu hesaba göre, 184 g hümin olmayan madde elde edilmiştir. Çözünen kısım yani HFA 16 g bulunurken, asit ilavesinin ardından çöken koyu renkli kısım (HA) 8 g bulunmuştur.

Daha önce yapılan çalışmalara benzer olarak; toplam hümik+fulvik asit oranı % 8, toplam hümik asit % 4 ve toplam fulvik asit % 4 bulunmuştur (Dobbss ve ark., 2010; Canellas ve ark., 2013; Hernandez ve ark., 2015).

## 3.Bulgular ve Tartışma

Çizelge 1'de bitki kuru ağırlıkları ve N, P, K, Ca ve Mg konsantrasyonları verilmiştir. Çalışmada hümik madde ve kimyasal gübre uygulamaları bahsi geçen besin elementleri

Deneme Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü serasında, 3 tekerrürlü saksı denemesi olarak yürütülmüştür. Hava kuru hale getirilen topraklar 4 mm' lik elekten elenmiştir. İki kilogramlık saksılar ile yürütülen deneme 3 humik madde (HM) kaynağı (humik asit: HA, fulvik asit: FA ve humik+fulvik asit: HFA) iki HM dozu (D0:0 ve D1:1000 ppm), iki kimyasal gübre (KG) uygulaması (KG0: kontrol ve KG1: 300 ppm N, 200 ppm P, 200 ppm K, 5 ppm Zn, 10 ppm Fe) ve 3 paralelden oluşmaktadır. Gübre kaynakları olarak amonyum sülfat, TSP, potasyum sülfat, çinko sülfat ve demir sülfatın kullanıldığı çalışmada gübreleme, hazırlanan stok çözeltilerden her bir saksıya çözeltili halinde verilerek gerçekleştirilmiştir. Dikim öncesinde yapılan HM ve gübre uygulamaları sonrasında topraklar iyice karıştırılmış ve saksılara doldurulduktan sonra fide dikimi yapılmıştır. Test bitkisi olarak biberin kullanıldığı çalışmada, dikimden itibaren 45 günlük sürenin sonunda bitkiler toprak yüzeyinden kesilerek hasat edilmiştir. Hasat edilen bitki örnekleri 65°C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra öğütülen bu bitki örneklerinde N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn ve Mn analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi yapılarak, uygulamalar arası farklar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmada kullanılan toprak; Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi uygulama alanından alınmış olup, orta bünyeli, hafif alkali, kireçli, organik madde içeriği düşük bir topraktır.

Deneme için gerekli kullanılan hümik maddeler laboratuvar koşullarında vermikomposttan üretilmiştir. Hümik ve fulvik asit fraksiyonlarının ayrıştırma işlemi, Rice (2008) tarafından bildirilen yöntem kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntem için 2 litrelik erlende % 2'lik KOH hazırlanarak içine fırın kuru olarak 200 g vermikompost eklenmiştir. Hot plate üzerinde 70-75 °C'de 7 saat karıştırılmıştır. Soğuduktan sonra hümin olmayan katı madde süzülerek etüvde kurutulmuş ve hümik ve fulvik asit içermeyen katı madde miktarı 184 g olarak belirlenmiştir. Süzülen ekstraktta ise HFA kalmıştır. Hümik ve fulvik asiti birbirinden ayırmak için ekstraktın pH'sı konsantre HCL ile 2'ye düşürülerek asitleştirilmiştir. Bu sayede hem asidik hem de bazik ortamda çözünebilir fulvik asit çözülmüş halde kalırken, sadece bazik ortamlarda çözünebilir hümik asit dibe çökelmiştir. Dibe çökme işleminden sonra süspansiyon santrifüj edilerek fulvik asit hümik asitten ayrılmıştır. Fulvik asit alındıktan sonra kalan katı hümik asit etüvde kurutulmuş ve ağırlığı belirlenmiştir. Katı hümik asidi çözmek için ayrıca % 1'lik KOH çözeltisi hazırlanmış ve katı hümik asit çözülmüştür.

yönünden farklı derecelerde istatistiksel olarak önemli bir farklılıklara sebep olmuştur. Kuru ağırlıklar arasında ise önemli bir fark görülmemiştir. Çalışmada en yüksek bitki kuru ağırlığı (1,23 g) temel gübreleme yapılan ve hümik madde uygulanmayan konulardan alınmıştır. Kuru ağırlık yönünden uygulamaların benzer sonuçlar vermesi, hasadın erken dönemde yapılması ile ilgili olabilir. Bitkilerin vejetatif aksamının yeterince gelişmemesi, uygulamalar arası verim yönünden benzer sonuçlara neden olmuş olabilir.

Çizelgede görüldüğü üzere uygulamalar arası farklar her element için değişiklik göstermiştir. Fosfor ve potasyum için uygulamalar arası farklar daha belirgin iken, kalsiyum ve magnezyum için genel interaksiyon ve gübre x hümik madde interaksiyonunda uygulamalar arası fark görülmemiştir.



Çizelge 1: Uygulamaların biberin kuru ağırlığı (g/ bitki) ve N, P, K, Ca ve Mg konsantrasyonları (%) üzerine etkisi

Uygulamalar	KA	N	P	K	Ca	Mg	
KG× HM ×D	KG <sub>0</sub> HA D <sub>0</sub>	1,17	2,78 <u>d*</u>	0,16 <u>c**</u>	3,18 <u>c*</u>	2,80 <u>d*</u>	0,62
	KG <sub>0</sub> HA D <sub>1</sub>	1,10	2,78 <u>d</u>	0,18 <u>bc</u>	3,36 <u>c</u>	4,23 <u>b</u>	0,57
	KG <sub>0</sub> FA D <sub>0</sub>	1,17	52,78 <u>d</u>	0,16 <u>c</u>	3,18 <u>c</u>	2,80 <u>d</u>	0,62
	KG <sub>0</sub> FA D <sub>1</sub>	1,13	2,93 <u>cd</u>	0,18 <u>bc</u>	4,80 <u>b</u>	3,00 <u>d</u>	0,84
	KG <sub>0</sub> HFA D <sub>0</sub>	1,17	2,78 <u>d</u>	0,16 <u>c</u>	3,18 <u>c</u>	2,80 <u>d</u>	0,62
	KG <sub>0</sub> HFA D <sub>1</sub>	1,20	2,48 <u>d</u>	0,16 <u>c</u>	4,85 <u>b</u>	2,60 <u>d</u>	0,65
	KG <sub>1</sub> HA D <sub>0</sub>	1,23	3,90 <u>ab</u>	0,17 <u>bc</u>	2,90 <u>c</u>	3,73 <u>bcd</u>	0,94
	KG <sub>1</sub> HA D <sub>1</sub>	1,10	4,44 <u>a</u>	0,17 <u>bc</u>	2,98 <u>c</u>	4,13 <u>bc</u>	0,76
	KG <sub>1</sub> FA D <sub>0</sub>	1,23	3,66 <u>b</u>	0,17 <u>bc</u>	2,90 <u>c</u>	3,73 <u>bcd</u>	0,94
	KG <sub>1</sub> FA D <sub>1</sub>	1,00	3,81 <u>ab</u>	0,20 <u>b</u>	5,59 <u>ab</u>	5,68 <u>a</u>	1,00
	KG <sub>1</sub> HFA D <sub>0</sub>	1,23	3,90 <u>ab</u>	0,17 <u>bc</u>	2,90 <u>c</u>	3,73 <u>bcd</u>	0,94
	KG <sub>1</sub> HFA D <sub>1</sub>	1,17	3,44 <u>bc</u>	0,23 <u>a</u>	6,03 <u>a</u>	4,77 <u>ab</u>	1,04
KG× HM	KG <sub>0</sub> HA	1,13	2,77 <u>c*</u>	0,17 <u>bc**</u>	3,27 <u>b*</u>	2,90 <u>cd*</u>	0,60
	KG <sub>0</sub> FA	1,15	2,86 <u>c</u>	0,17 <u>bc</u>	3,99 <u>a</u>	3,52 <u>bc</u>	0,73
	KG <sub>0</sub> HFA	1,18	2,63 <u>c</u>	0,16 <u>c</u>	4,01 <u>a</u>	2,70 <u>e</u>	0,64
	KG <sub>1</sub> HA	1,17	4,17 <u>a</u>	0,17 <u>bc</u>	2,94 <u>b</u>	3,93 <u>b</u>	0,85
	KG <sub>1</sub> FA	1,11	3,73 <u>b</u>	0,18 <u>ab</u>	4,25 <u>a</u>	4,71 <u>a</u>	0,97
	KG <sub>1</sub> HFA	1,20	3,67 <u>b</u>	0,20 <u>a</u>	4,47 <u>a</u>	4,25 <u>ab</u>	0,99
KG× D	KG <sub>0</sub> D <sub>0</sub>	1,17	2,78 <u>B*</u>	0,16	3,18 <u>C**</u>	2,80 <u>C*</u>	0,62
	KG <sub>0</sub> D <sub>1</sub>	1,14	2,73 <u>B</u>	0,18	4,33 <u>B</u>	3,28 <u>BC</u>	0,69
	KG <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	1,23	3,82 <u>A</u>	0,17	2,90 <u>C</u>	3,73 <u>B</u>	0,94
	KG <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	1,09	3,90 <u>A</u>	0,20	4,87 <u>A</u>	4,86 <u>A</u>	0,94
D × HM	HA D <sub>0</sub>	1,20	3,34 <u>ab**</u>	0,16	3,04 <u>b**</u>	3,27 <u>b**</u>	0,78 <u>ab*</u>
	HA D <sub>1</sub>	1,10	3,61 <u>a</u>	0,18	3,17 <u>b</u>	3,57 <u>b</u>	0,67 <u>b</u>
	FA D <sub>0</sub>	1,20	3,22 <u>ab</u>	0,16	3,04 <u>b</u>	3,27 <u>b</u>	0,78 <u>ab</u>
	FA D <sub>1</sub>	1,07	3,37 <u>a</u>	0,19	5,19 <u>a</u>	4,96 <u>a</u>	0,92 <u>a</u>
	HFA D <sub>0</sub>	1,20	3,34 <u>ab</u>	0,16	3,04 <u>b</u>	3,27 <u>b</u>	0,78 <u>ab</u>
	HFA D <sub>1</sub>	1,18	2,96 <u>b</u>	0,20	5,44 <u>a</u>	3,68 <u>b</u>	0,85 <u>a</u>
KG	KG <sub>0</sub>	1,16	2,75 <u>B**</u>	0,17 <u>B**</u>	3,76	3,04 <u>B**</u>	0,65 <u>B**</u>
	KG <sub>1</sub>	1,16	3,86 <u>A</u>	0,18 <u>A</u>	3,88	4,30 <u>A</u>	0,94 <u>A</u>
D	0	1,20	3,30	0,16 <u>b**</u>	3,04 <u>b**</u>	3,27 <u>b**</u>	0,78
	1	1,12	3,31	0,19 <u>a</u>	4,60 <u>a</u>	4,07 <u>a</u>	0,81
HM	HA	1,15	3,47 <u>A**</u>	0,17	3,11 <u>B**</u>	3,42 <u>B**</u>	0,72 <u>B*</u>
	FA	1,13	3,30 <u>AB</u>	0,18	4,12 <u>A</u>	4,11 <u>A</u>	0,85 <u>A</u>
	HFA	1,19	3,15 <u>B</u>	0,18	4,24 <u>A</u>	3,48 <u>B</u>	0,81 <u>AB</u>

\*: p≤ 0,05 \*\* :p≤ 0,01

Çizelge 2’de biber bitkilerinin Fe, Cu, Zn, Mn konsantrasyonları verilmiştir. Çizelgenin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi yapılan uygulamaların hepsi, bahsi geçen elementler yönünden farklılığa sebep olmuştur. Özellikle genel interaksiyona bakıldığında kontrol saksılarına göre % 95 artış

göstererek Fe içeriğinin 595 ppm’ e ulaştığı görülmektedir. Çinko için de yine önemli bir artış göstererek 50,5 ppm’ e ulaştığı görülmektedir. Demir ve çinko yönünden en yüksek sonuç HFA uygulamalarından alınırken, bakır ve manganda en yüksek sonuçlar FA uygulamalarından alınmıştır.

Çizelge 2: Uygulamaların biberde Fe, Cu, Zn ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi (ppm)

Uygulamalar	Fe	Cu	Zn	Mn	
KG× HM ×D	KG <sub>0</sub> HA D <sub>0</sub>	305 <u>c</u>	10,6 <u>e**</u>	17,5 <u>c**</u>	139 <u>bc</u>
	KG <sub>0</sub> HA D <sub>1</sub>	448 <u>abc</u>	12,8 <u>de</u>	24,5 <u>c</u>	103 <u>c</u>
	KG <sub>0</sub> FA D <sub>0</sub>	305 <u>c</u>	10,6 <u>e</u>	17,5 <u>c</u>	139 <u>bc</u>
	KG <sub>0</sub> FA D <sub>1</sub>	398 <u>bc</u>	14,0 <u>cde</u>	23,8 <u>c</u>	178 <u>ab</u>
	KG <sub>0</sub> HFA D <sub>0</sub>	305 <u>c</u>	10,6 <u>e</u>	17,5 <u>c</u>	139 <u>bc</u>
	KG <sub>0</sub> HFA D <sub>1</sub>	403 <u>bc</u>	24,1 <u>ab</u>	19,8 <u>c</u>	157 <u>bc</u>
	KG <sub>1</sub> HA D <sub>0</sub>	520 <u>ab</u>	14,7 <u>cde</u>	36,4 <u>b</u>	128 <u>bc</u>
	KG <sub>1</sub> HA D <sub>1</sub>	499 <u>ab</u>	16,7 <u>cd</u>	34,8 <u>b</u>	163 <u>bc</u>
	KG <sub>1</sub> FA D <sub>0</sub>	520 <u>ab</u>	14,7 <u>cde</u>	36,4 <u>b</u>	128 <u>bc</u>
	KG <sub>1</sub> FA D <sub>1</sub>	525 <u>ab</u>	26,0 <u>a</u>	49,6 <u>a</u>	247 <u>a</u>
	KG <sub>1</sub> HFA D <sub>0</sub>	520 <u>ab</u>	14,7 <u>cde</u>	36,4 <u>b</u>	128 <u>bc</u>
	KG <sub>1</sub> HFA D <sub>1</sub>	595 <u>a</u>	19,3 <u>bc</u>	50,5 <u>a</u>	198 <u>ab</u>
KG× HM	KG <sub>0</sub> HA	377 <u>b</u>	11,7 <u>c**</u>	21,0 <u>c**</u>	121 <u>b</u>

	KG <sub>0</sub> FA	352 <b>b</b>	12,3 <b>c</b>	20,6 <b>c</b>	159 <b>ab</b>
	KG <sub>0</sub> HFA	354 <b>b</b>	17,3 <b>ab</b>	18,6 <b>c</b>	148 <b>ab</b>
	KG <sub>1</sub> HA	510 <b>a</b>	15,7 <b>b</b>	35,6 <b>b</b>	146 <b>ab</b>
	KG <sub>1</sub> FA	522 <b>a</b>	20,4 <b>a</b>	43,0 <b>a</b>	188 <b>a</b>
	KG <sub>1</sub> HFA	557 <b>a</b>	17,0 <b>b</b>	43,5 <b>a</b>	163 <b>ab</b>
KG× D	KG <sub>0</sub> D <sub>0</sub>	305 <b>C*</b>	10,6 <b>B</b>	17,5 <b>D</b>	139 <b>B**</b>
	KG <sub>0</sub> D <sub>1</sub>	417 <b>B</b>	17,0 <b>B</b>	22,7 <b>C</b>	146 <b>B</b>
	KG <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	520 <b>A</b>	14,7 <b>B</b>	36,4 <b>B</b>	128 <b>B</b>
	KG <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	540 <b>A</b>	20,7 <b>A</b>	45,0 <b>A</b>	203 <b>A</b>
D × HM	HA D <sub>0</sub>	412	12,6 <b>b**</b>	27,0 <b>c</b>	134 <b>b**</b>
	HA D <sub>1</sub>	474	14,8 <b>b</b>	29,7 <b>bc</b>	133 <b>b</b>
	FA D <sub>0</sub>	412	12,6 <b>b</b>	27,0 <b>c</b>	133 <b>b</b>
	FA D <sub>1</sub>	462	20,0 <b>a</b>	36,7 <b>a</b>	213 <b>a</b>
	HFA D <sub>0</sub>	412	12,6 <b>b</b>	27,0 <b>c</b>	134 <b>b</b>
	HFA D <sub>1</sub>	499	21,7 <b>a</b>	35,2 <b>ab</b>	177 <b>a</b>
KG	KG <sub>0</sub>	361 <b>B**</b>	13,6 <b>B**</b>	20,1 <b>B**</b>	143 <b>B**</b>
	KG <sub>1</sub>	530 <b>A</b>	17,7 <b>A</b>	40,7 <b>A</b>	165 <b>A</b>
D	0	412 <b>b**</b>	12,6 <b>b**</b>	27,0 <b>b**</b>	134 <b>b**</b>
	1	478 <b>a</b>	18,8 <b>a</b>	33,8 <b>a</b>	174 <b>a</b>
HM	HA	443	13,7 <b>B**</b>	28,3 <b>B*</b>	133 <b>B**</b>
	FA	437	16,3 <b>A</b>	31,8 <b>A</b>	173 <b>A</b>
	HFA	456	17,2 <b>A</b>	31,1 <b>AB</b>	155 <b>AB</b>

\*: p≤ 0,05    \*\*:p≤ 0,01

Çizelge 3' te bitki gelişimi boyunca saksıdan kaldırılan toplam N, P, K, Ca ve Mg miktarları verilmiştir. Çizelge incelendiğinde farklı uygulamaların P dışındaki makro

elementler için istatistiksel olarak önemli farklara neden olduğu görülmektedir. En fazla besin elementi kimyasal gübre ve HFA uygulaması yapılan saksılardan kaldırılmıştır.

Çizelge 3: Uygulamaların biberde N, P, K, Ca ve Mg alımı üzerine etkisi (mg/saksı)

Uygulamalar	N	P	K	Ca	Mg	
KG× HM ×D	KG <sub>0</sub> HA D <sub>0</sub>	3,25	1,83	37,1 <b>c</b>	32,6 <b>bc</b>	7,23 <b>bc</b>
	KG <sub>0</sub> HA D <sub>1</sub>	3,05	2,01	37,1 <b>c</b>	33,0 <b>bc</b>	6,36 <b>c</b>
	KG <sub>0</sub> FA D <sub>0</sub>	3,25	1,83	37,1 <b>c</b>	32,6 <b>bc</b>	7,23 <b>bc</b>
	KG <sub>0</sub> FA D <sub>1</sub>	3,33	2,04	54,2 <b>b</b>	47,9 <b>ab</b>	9,48 <b>abc</b>
	KG <sub>0</sub> HFA D <sub>0</sub>	3,25	1,83	37,1 <b>c</b>	32,6 <b>bc</b>	7,23 <b>bc</b>
	KG <sub>0</sub> HFA D <sub>1</sub>	2,97	1,98	58,1 <b>ab</b>	31,2 <b>c</b>	7,81 <b>abc</b>
	KG <sub>1</sub> HA D <sub>0</sub>	4,82	2,11	35,6 <b>c</b>	45,3 <b>abc</b>	11,4 <b>ab</b>
	KG <sub>1</sub> HA D <sub>1</sub>	4,89	1,87	32,7 <b>c</b>	45,8 <b>abc</b>	8,39 <b>abc</b>
	KG <sub>1</sub> FA D <sub>0</sub>	4,54	2,11	35,6 <b>c</b>	45,3 <b>abc</b>	11,5 <b>ab</b>
	KG <sub>1</sub> FA D <sub>1</sub>	3,81	1,97	55,9 <b>ab</b>	56,8 <b>a</b>	10,0 <b>abc</b>
	KG <sub>1</sub> HFA D <sub>0</sub>	4,82	2,11	35,6 <b>c</b>	45,3 <b>abc</b>	11,5 <b>ab</b>
	KG <sub>1</sub> HFA D <sub>1</sub>	4,02	2,63	69,1 <b>a</b>	54,7 <b>a</b>	12,0 <b>a</b>
	KG× HM	KG <sub>0</sub> HA	3,15 <b>c*</b>	1,92	37,1 <b>b</b>	32,8 <b>c</b>
KG <sub>0</sub> FA		3,29 <b>bc</b>	1,94	45,6 <b>a</b>	40,3 <b>bc</b>	8,36 <b>bcd</b>
KG <sub>0</sub> HFA		3,11 <b>c</b>	1,90	47,6 <b>a</b>	31,9 <b>c</b>	7,52 <b>cd</b>
KG <sub>1</sub> HA		4,86 <b>a</b>	1,99	34,1 <b>b</b>	45,6 <b>ab</b>	9,94 <b>abc</b>
KG <sub>1</sub> FA		4,17 <b>abc</b>	2,04	45,8 <b>a</b>	51,1 <b>a</b>	10,8 <b>ab</b>
KG <sub>1</sub> HFA		4,42 <b>ab</b>	2,37	52,3 <b>a</b>	50,0 <b>a</b>	11,8 <b>a</b>
KG× D	KG <sub>0</sub> D <sub>0</sub>	3,25 <b>B*</b>	1,83	37,1 <b>B</b>	32,6 <b>C</b>	7,23 <b>B</b>
	KG <sub>0</sub> D <sub>1</sub>	3,12 <b>B</b>	2,01	49,8 <b>A</b>	37,4 <b>C</b>	7,88 <b>B</b>
	KG <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	4,72 <b>A</b>	2,11	35,6 <b>B</b>	45,3 <b>B</b>	11,5 <b>A</b>
	KG <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	4,24 <b>A</b>	2,16	52,6 <b>A</b>	52,4 <b>A</b>	10,2 <b>A</b>
D × HM	HA D <sub>0</sub>	4,03	1,97	36,3 <b>c**</b>	39,0 <b>b*</b>	9,36
	HA D <sub>1</sub>	3,97	1,94	34,9 <b>c</b>	39,4 <b>b</b>	7,38
	FA D <sub>0</sub>	3,89	1,97	36,3 <b>c</b>	39,0 <b>b</b>	9,36
	FA D <sub>1</sub>	3,57	2,01	55,1 <b>b</b>	52,4 <b>a</b>	9,75
	HFA D <sub>0</sub>	4,03	1,97	36,3 <b>c</b>	39,0 <b>b</b>	9,36
	HFA D <sub>1</sub>	3,49	2,30	63,6 <b>a</b>	42,9 <b>b</b>	9,93
KG	KG <sub>0</sub>	3,18 <b>B**</b>	1,92 <b>B*</b>	43,4	35,0 <b>B**</b>	7,56 <b>B**</b>
	KG <sub>1</sub>	4,48 <b>A</b>	2,13 <b>A</b>	44,1	48,9 <b>A</b>	10,8 <b>A</b>

D	0	3,99	1,97	36,3 b**	39,0 b**	9,36
	1	3,68	2,08	51,2 a	44,9 a	9,02
HM	HA	4,00	1,96	35,6 B**	39,2 B*	8,37
	FA	3,73	1,99	45,7 A	45,7 A	9,56
	HFA	3,76	2,14	50,0 A	41,0 AB	9,64

\*: p≤ 0,05 \*\* :p≤ 0,01

Çizelge 4' te bitki gelişimi boyunca saksıdan kaldırılan toplam Fe, Cu, Zn ve Mn miktarları verilmiştir. Çizelge incelendiğinde her bir besin elementi için farklı uygulamaların

istatistiksel olarak önemli farklılıklara yol açtığı görülmektedir. Yine kimyasal gübre ve HFA uygulaması yapılan konulardan en fazla besin elementi kaldırılmıştır.

Çizelge 4: Uygulamaların biberde Fe, Cu, Zn ve Mn alımı üzerine etkisi (µg/saksıt)

Uygulamalar	Fe	Cu	Zn	Mn	
KG× HM ×D	KG <sub>0</sub> HA D <sub>0</sub>	356	12,3 d*	20,4 c	1713 c
	KG <sub>0</sub> HA D <sub>1</sub>	495	14,1 cd	26,9 bc	1436 c
	KG <sub>0</sub> FA D <sub>0</sub>	356	12,3 d	20,4 c	1713 c
	KG <sub>0</sub> FA D <sub>1</sub>	451	15,8 cd	27,0 bc	2830 bc
	KG <sub>0</sub> HFA D <sub>0</sub>	356	12,3 d	20,4 c	1713 c
	KG <sub>0</sub> HFA D <sub>1</sub>	484	28,9 a	23,7 c	4652 ab
	KG <sub>1</sub> HA D <sub>0</sub>	649	18,1 bcd	45,0 ab	2342 bc
	KG <sub>1</sub> HA D <sub>1</sub>	546	18,5 bcd	38,3 abc	3024 bc
	KG <sub>1</sub> FA D <sub>0</sub>	649	18,1 bcd	45,0 ab	2342 bc
	KG <sub>1</sub> FA D <sub>1</sub>	525	26,0 ab	49,6 a	6457 a
	KG <sub>1</sub> HFA D <sub>0</sub>	649	18,1 bcd	45,0 ab	2342 bc
	KG <sub>1</sub> HFA D <sub>1</sub>	696	22,7 abc	58,7 a	4489 ab
	KG× HM	KG <sub>0</sub> HA	425 b	13,2 b*	23,7 b
KG <sub>0</sub> FA		403 b	14,1 b	23,7 b	2271 bc
KG <sub>0</sub> HFA		420 b	20,6 a	22,1 b	3182 abc
KG <sub>1</sub> HA		598 ab	18,3 ab	41,6 a	2683 bc
KG <sub>1</sub> FA		587 ab	22,1 a	47,3 a	4399 a
KG <sub>1</sub> HFA		673 a	20,4 a	51,8 a	3416 ab
KG× D	KG <sub>0</sub> D <sub>0</sub>	356 C*	12,3 B	20,4 B	1713 C
	KG <sub>0</sub> D <sub>1</sub>	477 BC	19,6 A	25,9 B	2973 B
	KG <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	649 A	18,1 A	45,0 A	2342 BC
	KG <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	589 AB	22,4 A	48,9 A	4657 A
D × HM	HA D <sub>0</sub>	503	15,2 b**	32,7	2027 b**
	HA D <sub>1</sub>	521	16,3 b	32,6	2230 b
	FA D <sub>0</sub>	503	15,2 b	32,7	2027 b
	FA D <sub>1</sub>	488	20,9 ab	38,3	4643 a
	HFA D <sub>0</sub>	503	15,2 b	32,7	2027 b
	HFA D <sub>1</sub>	590	25,8 a	41,2	4570 a
KG	KG <sub>0</sub>	416 B**	16,0 B**	23,2 B**	2343 B**
	KG <sub>1</sub>	619 A	20,2 A	47,0 A	3499 A
D	0	503	15,2 b**	32,7	2027 b**
	1	533	21,0 a	37,4	3815 a
HM	HA	512	15,8 B**	32,7	2129 B**
	FA	495	18,1 AB	35,5	3335 A
	HFA	546	20,5 A	37,0	3299 A

\*: p≤ 0,05 \*\* :p≤ 0,01

Mineral gübrelerin bitki beslenmesi üzerine olan etkileri yapılan birçok çalışma ile ortaya konmuştur (Aliyu, 2000; López ve ark., 2011; Siebielec ve ark., 2018). Bu doğrultuda bitkilerin K, Fe ve Zn içeriklerinde uygulamalar arası farklılıkların oluşması yapılan temel gübrelemeden kaynaklanmış olabilir. Sonuçlara genel olarak bakıldığında hümik madde uygulamasının bireysel etkilerinden, en yüksek sonuçların HFA uygulaması yapılan konulardan elde edildiği anlaşılmaktadır. Bu durumda hümik+fulvik asit uygulamasının, hümik asit ve fulvik

asit'in bireysel olarak uygulanmasından daha verimli olacağı fikrine varılabilir.

Genel olarak sonuçlara bakıldığında hasat sonrası bitkilerin Fe, Cu, Zn ve Mn içerikleri yeterli düzeyde bulunmuştur. Yine makro elementlerden K ve Mg yeterli düzeyde bulunurken; Ca fazla, P ise yetersiz bulunmuştur. Bitkilerdeki bu Ca fazlalığı göz önüne alındığında; sulama suyundan gelen CaCO<sub>3</sub>'ün toprak mikroorganizmalarınca ayrıştırılması sonucu, toprak çözeltisinde Ca konsantrasyonunun artmış olması mümkündür (Okur ve ark., 2007; Abdulwahhab ve Şeker , 2020). Bunun yanında kullanılan

toprağın kireçli olması da, bu durumun nedenleri arasında sayılabilir. Fosfor içeriğinin yetersizliği ise; organik madde içeriği düşük olan bir toprak kullanıldığı düşünüldüğünde, yapılan hümik madde ve kimyasal gübre uygulamalarının da etkisi görülmeden hasat edilmesine bağlı olabilir.

Sonuç olarak hümik madde uygulamalarının erken dönemdeki biber bitkisinin mineral beslenmesi üzerine olumlu etkileri olmuştur. Fakat bu etkileri daha detaylı bir şekilde incelemek için hümik maddeleri birkaç farklı dozda uygulamak daha uygun olacaktır.

## Kaynaklar

- Aliyu, L. (2000). Effect of organic and mineral fertilizers on growth, yield and composition of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Biological agriculture & horticulture*, 18(1), 29-36. <https://doi.org/10.1080/01448765.2000.9754862>
- Abdulwahhab, Q., & Şeker, C. Farklı Dozlarda Kireç Uygulamasının İki Farklı Tekstürdeki Toprağın Bazı Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi. *Toprak Su Dergisi*, 9(2), 80-87. <https://doi.org/10.21657/topraksu.699821>
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q., & Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource technology*, 84(1), 7-14.
- Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., & Shuster, W. (2000). Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*, 44(5), 579-590.
- Arduç, S. (2016). *Yozgat koşullarında iki ekmeklik buğday (Triticum aestivum L.) çeşidinde hümik-fulvik asit uygulamasının tane verimi ve bazı kalite özelliklerine etkisi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Akıncı, Ş. (2011). Hümik asitler, bitki büyümesi ve besleyici alımı. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 23(1), 46-56.
- Canellas, L. P., Balmori, D. M., Médici, L. O., Aguiar, N. O., Campostrini, E., Rosa, R. C., ... & Olivares, F. L. (2013). A combination of humic substances and *Herbaspirillum seropedicae* inoculation enhances the growth of maize (*Zea mays* L.). *Plant and soil*, 366(1), 119-132.
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia horticulturae*, 196, 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>
- Dobbss, L. B., Pasqualoto Canellas, L., Lopes Olivares, F., Oliveira Aguiar, N., Peres, L. E. P., Azevedo, M., ... & Facanha, A. R. (2010). Bioactivity of chemically transformed humic matter from vermicompost on plant root

- growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(6), 3681-3688. <https://doi.org/10.1021/jf904385c>
- Demirel, M. (2018). *Farklı dozlarda katı biyogaz atıklarının buğday (Triticum aestivum L.) bitkisinin verim ve kalitesi üzerine etkisi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Erdal, İ., Küçükyumuk, Z., TAPLAMACIOĞLU, D., & Toftar, B. (2014). Kireçli bir toprakta humik ve fulvik asit uygulamalarının domatesin gelişimi ve beslenmesine etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 2(2), 70-74.
- Halpern, M., Bar-Tal, A., Ofek, M., Minz, D., Muller, T., & Yermiyahu, U. (2015). The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. *Advances in agronomy*, 130, 141-174. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.10.001>
- Hernandez, O. L., Calderín, A., Huelva, R., Martínez-Balmori, D., Guridi, F., Aguiar, N. O., ... & Canellas, L. P. (2015). Humic substances from vermicompost enhance urban lettuce production. *Agronomy for sustainable development*, 35(1), 225-232. <https://doi10.1007/s13593-014-0221-x>
- Karademir, S. (2019). *Farklı Oranlarda Vermikompost Uygulamalarının Marulda (Lactuca Sativa L.) Bitki Gelişimi, Kalite Özellikleri Ve Besin Elementi İçeriği Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi*. YL Tezi. Bolu.
- López, M. A. H., Ulery, A. L., Samani, Z., Picchioni, G., & Flynn, R. P. (2011). Response of chile pepper (*Capsicum annuum* L.) to salt stress and organic and inorganic nitrogen sources: I. growth and yield. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(1), 137-147.
- Okur, N., Kayıkçıoğlu, H., Tunç, G. and Tüzel, Y. (2007). Organik tarımda kullanılan bazı organik gübrelerin topraktaki mikrobiyal aktivite üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 44(2), 65-80.
- R. J. A., Senesi, N. and Wilkinson, K.J. (2008). *Biophysical Chemistry of Fractal Structures and Processes in Environmental Systems*. A John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, 221-236.
- Siebielec, G., Siebielec, S., & Lipski, D. (2018). Long-term impact of sewage sludge, digestate and mineral fertilizers on plant yield and soil biological activity. *Journal of Cleaner Production*, 187, 372-379.
- Taban, S., Turan, M. A., & Katkat, A. V. (2013). Tarımda organik madde ve tavuk gübresi. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, 10(1), 9-13.
- Ünver, İ. T. D., & Özbek, K. Y. (2011). *Hiper toplayıcı bitkilerle kadmiyumlu toprakların iyileştirilmesi ve gübre, humik asit ve şelat uygulamalarının etkinliği* (Doctoral dissertation, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı).





# Covid-19 Salgınının BIST-100 Endeksi Üzerindeki Etkisi: Türkiye Özelinde Ampirik Bir Araştırma

Mustafa Kartal<sup>1\*</sup>, Ümit Dağlı<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Selçuk Üniversitesi, Beyşehir A. A. İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5404-5365), mkartal@selcuk.edu.tr

<sup>2\*</sup> Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya, Türkiye, umitdagli51@outlook.com

(İlk Geliş Tarihi 11 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 17 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.981801)

**ATIF/REFERENCE:** Kartal, M. & Dağlı, Ü. (2021). Covid-19 Salgınının BIST-100 Endeksi Üzerindeki Etkisi: Türkiye Özelinde Ampirik Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 815-822.

## Öz

2019 yılının Aralık ayında Çin'in Hubei eyaleti Wuhan kentinde ilk olarak görülen ve daha sonra bütün dünyaya hızla yayılan Covid-19 salgını, ülkelerin sağlık hizmetlerinin yanı sıra sosyal ve ekonomik yapılarını da ciddi anlamda tehdit etmektedir. Bu çalışmada, Covid-19 süresince BIST-100 endeksinin performansı FMOLS ve DOLS yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada; BIST-100 endeksi, hasta sayısı ve vefat sayısı 17 Mart 2020-21 Ocak 2021 dönemi için günlük olarak ele alınmıştır. BIST-100 endeksi bağımlı, hasta sayısı ve vefat sayısı açıklayıcı değişken olarak ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, COVID-19'un BIST-100 endeksi üzerinde olumsuz etkisi olduğu göstermektedir. Buna göre hasta sayısı bir birim arttığında BIST-100 endeksi 0,04 birim değer kaybetmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Covid-19 Salgını, BIST-100 Endeksi, Türkiye.

## The Effect of the Covid-19 Epidemic on BIST-100 Index: An Empirical Research Special in Turkey

### Abstract

The Covid-19 epidemic, which was first seen in Wuhan, China's Hubei province in December 2019 and then spread rapidly all over the world, seriously threatens the social and economic structures of countries as well as health services. In this study, the performance of the BIST-100 index during Covid-19 was analyzed using FMOLS and DOLS methods. In the study; the BIST-100 index, the number of patients and the number of deaths are discussed on a daily basis for the period 17 March 2020-21 January 2021. BIST-100 index was considered as dependent, number of patients and number of deaths as explanatory variables. The results obtained show that COVID-19 has a negative effect on the BIST-100 index. Accordingly, when the number of patients increases by one unit, the BIST-100 index loses 0.04 units.

**Keywords:** Covid-19 Epidemic, BIST-100, Turkey.

\* Sorumlu Yazar: [mkartal@selcuk.edu.tr](mailto:mkartal@selcuk.edu.tr)

## 1. Giriş

2019 yılının Aralık ayında Çin'in Hubei eyaleti Wuhan kentinde ilk olarak görülen ve daha sonra bütün dünyaya hızla yayılarak korku ve panik durumuna yol açan koronavirüsten kaynaklanan hastalığına, Dünya Sağlık Örgütü/World Health Organization (DSÖ/WHO) tarafından 11 Şubat 2020 tarihinde "**Covid-19**" adı verilmiştir. Virüsün yayılma hızı ve ülkelerin salgınla mücadele konusunda çekimser/geç davranmaları 12 Mart 2020'de Covid-19'unun pandemik bir hastalık olarak ilan edilmesinin temel gerekçeleri arasında yer almıştır.

Covid-19 salgınına ilişkin aşılarda etkinliği, virüsün mutasyona uğrama durumu ve salgının ekonomik etkileri gibi birçok belirsizlik bulunmaktadır. Dünya Bankası tarafından Haziran 2020'de açıklanan Küresel Ekonomik Beklentiler raporunda, 2020'de küresel ekonominin %5,2 daralacağı tahmin edilmiştir. Ülkelerin uyguladıkları maliye ve para politikalarına rağmen GSYH'deki bu düşüşün, son dönemlerdeki en şiddetli ekonomik resesyon olduğu belirtilmiştir. Covid-19 salgınının küresel ekonomide yaratmış olduğu temel etkiler ekonomik şu şekilde sıralanabilir (OECD, 2020):

- Borsalarda düşüş,
- İşsizlik oranlarında artış,
- Seyahat ve turizm sektöründe daralma,
- Tüketici güven endeksindeki düşüş,
- Tedarik zincirlerinde aksaklıklar,
- Sanayi üretim endeksinde azalma.

Bu çalışmada, Türkiye özelinde Covid-19 sürecinin borsalar üzerindeki etkisi analiz edilecektir. Çalışmanın giriş bölümünün ardından ikinci bölümde Covid-19 salgını ile ilgili genel bilgilere ve gelişmelere yer verilmektedir. Üçüncü bölümde literatür taraması sunulacak olup; dördüncü bölümde veri seti, yöntem ve analiz sonuçları yorumlanacaktır. Çalışma sonuç ve öneriler ile tamamlanacaktır.

## 2. Covid-19 Salgını

Covid-19 salgını, 2019 yılının Aralık ayında Çin'in Hubei eyaleti Wuhan kentinde ilk olarak görülen ve daha sonra bütün dünyaya hızla yayılarak korku ve panik durumuna yol açmıştır.

Tablo 2. Ülkelere Göre Vaka ve Ölüm Sayıları

Ülkeler	Vaka Sayıları	Ölüm Sayıları	Ölüm Oranı*
Amerika Birlesik Devletleri	19.346.790	335.789	1,74
Hindistan	10.286.709	148.994	1,45
Brezilya	7.619.200	193.875	2,54
Rusya	3.186.336	57.555	1,81
Fransa	2.576.420	64.254	2,49
İngiltere	2.488.784	73.512	2,95
İtalya	2.107.166	74.159	3,52
İspanya	1.893.502	50.442	2,66
Almanya	1.742.661	33.624	1,93

EBOLA, SARS ve MERS gibi salgınlardan daha az ölümcül sonuçlara yol açmasına rağmen Covid-19 hastalığının söz konusu salgınlara kıyasla daha bulaşıcı bir nitelikte olması endişenin boyutunu artırmaktadır.

Covid-19 ve diğer salgınlarda ölüm ve bulaşıcılık oranlarına Tablo 1'de yer verilmektedir.

Tablo 1. COVID-19 ve Diğer Salgınlarda Ölüm/Bulaşıcılık Oranları

	Ölüm Oranı (Ölüm sayısı/Vaka sayısı)	Bulaşıcılık Oranı (Enfekte kişi başına)
Ebola	%50	1.5-2.5
MERS	%34.30	0.42-0.92
SARS	%10	3
Covid-19	%1-3.4	1.5-3.5
Mevsimsel Grip	%0.05	1.3

Kaynak: Abiad vd., 2020: 1.

Tablo 1 incelendiğinde, Covid-19 kaynaklı ölüm oranının %1 ile %3,4 aralığında değiştiği tahmin edilmektedir. Bu oran, SARS hastalığında %10 olarak gerçekleşmişken; MERS için %34 olarak hesaplanmıştır. Ancak Covid-19'dan kaynaklanan ölüm oranının mevsimsel grip ölüm oranından önemli ölçüde yüksek seyretmektedir.

Küresel olarak 1 Ocak 2021 tarihi itibarıyla yaklaşık 82 milyon insanın bu hastalığa yakalandığı ve enfekte olan insanlardan 1.808.041'inin ise hayatını kaybettiği Dünya Sağlık Örgütü tarafından açıklanmıştır. Nitekim hastalığın kalıcı bir hasar bırakıp bırakmadığı konusunda yeterince bilimsel çalışma bulunmamaktadır.

Ülkelere göre Covid-19 vaka sayıları ve ölüm sayıları Tablo 2'de ortaya konmaktadır.

<b>Kolombiya</b>	1.626.461	42.909	2,64
<b>Arjantin</b>	1.613.928	43.163	2,67
<b>Meksika</b>	1.413.935	124.897	8,83
<b>Türkiye</b>	1.394.314	20.881	1,50
<b>Polonya</b>	1.305.774	28.956	2,22
<b>Dünya</b>	81.197.503	1.808.041	2,23

\* Ölüm oranı, toplam vaka sayısı içerisinde yaşanan ölüm durumunu temsil etmektedir. İlgili değer, ölüm sayısı\*100/vaka sayısı formülü aracılığıyla hesaplanmıştır.

**Kaynak:** World Health Organization, 2021.

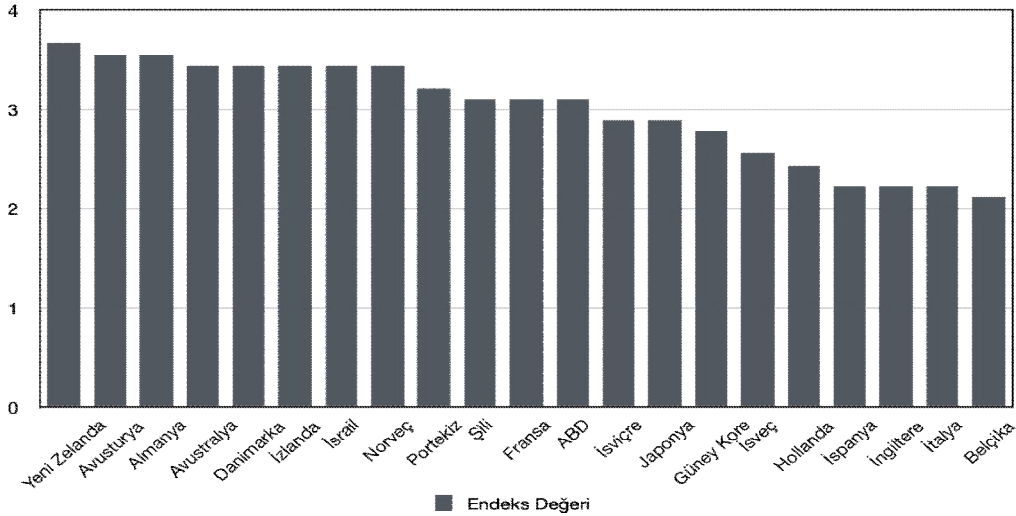
Tablo 2'ye göre, Covid-19 salgınına karşı mücadelede en disiplinli ve başarılı ülkelerden birisi Türkiye olmuştur. Ölüm oranı göstergesi dikkate alındığında; dünya ortalamasının altında olan Türkiye, tabloda yer alan diğer ülkelerden daha başarılı bir durumdadır. Nitekim Covid-19 salgınının dünya üzerindeki olumsuz etkileri, aşı çalışmalarını hızlandırmıştır. Ancak aşuların bütün dünyada uygulanmaya başlamasına rağmen İngiltere'de ortaya çıkan ve diğer ülkelere de yayılan mutasyonun daha bulaşıcı olduğu yönelik açıklamalar endişe ve panik durumunu sürdürmektedir.

Kısa sürede içerisinde bütün dünyaya hızla yayılan Covid-19 karşısında tüm ülkeler bir yandan sosyal hayatta çeşitli kısıtlamaları hayata geçirmişken; diğer yandan salgının ekonomi üzerinde etkisini hafifletebilmek amacıyla farklı politikaları hayata geçirmişlerdir. Ülkelerin hayata uygulamaya koymuş

oldukları politikaların başarısı destek paketlerinin büyüklüğüne, içeriğine ve paketin uygulanmaya konulma zamanına göre farklılık göstermektedir (Eichenbaum vd., 2020). EIU (2020), ülkelerin Covid-19 ile mücadelesinin kalitesini ölçmek için bir endeks geliştirmiştir. Bu endeks; iki alt başlıkta hesaplanmaktadır. Yanıt kalitesi başlığında; test sayısı, Covid-19 dışı sağlık hizmetlerinin sunulması ve ortalamanın üzerindeki aşırı ölümlerin sayısı kireçlerinden oluşurken; önceden var olan risk faktörleri arasında ise yaşlı nüfusun payı, obezite yaygınlığı ve uluslararası gelenlerin sayısı dikkate alınmıştır.

21 OECD ülkesi özelinde hazırlanan endeks değerlerine Grafik 1'de yer verilmektedir.

**Grafik 1. Ülke Sıralamasına Göre EIU Endeks Değerleri**



Bu endeks, 21 OECD ülkesinin koronavirüs salgınına karşı ne derece iyi tepki verdiğini ortaya koymak amacıyla geliştirilmiştir. Endeks değerleri, risk profillerine göre hangi ülkelerin salgını en iyi şekilde yönettiği hakkında bilgiler vermektedir (Economist Intelligence Unit, 2020).

**Kaynak:** Economist Intelligence Unit (2020).

Grafik 1 göz önünde bulundurulduğunda; Yeni Zelanda, Avusturya, Almanya, Avustralya, Danimarka, İzlanda, İsrail ve Norveç'in üst sıralarda yer aldığı görülmektedir. Bu ülkelerin Covid-19 salgınına karşı başarısının temelinde hızlı ve erken davranmak ile önemli izleme ve test programları yürütmek yer

almaktadır. Buna karşın; İspanya, İngiltere, İtalya ve Belçika, Avrupa'da salgından en çok etkilenen ve salgınla mücadele en başarısız endeks değerine sahip ülkeler olarak ortama çıkmaktadır (Konig ve Winkler, 2020: 225).

### 3. Yazın Taraması

Literatürde, Covid-19'un ekonomik etkilerini uygulamalı olarak araştıran çalışmalar bulunmaktadır. Literatür taramasında Covid-19'un ekonomik etkilerini tahmin eden çeşitli çalışmalara yer verilmiştir.

Hatman vd. (2021) yılında yaptıkları çalışma, 11 Mart 2020 ile 30 Nisan 2021 arasındaki dönemi kapsamaktadır. Covid-19'un borsa üzerindeki etkisini ölçmek için ARDL eşbütünleşme testi kullanılmış olup; sonuçlar salgının Romanya için BET endeksi üzerinde önemli bir uzun vadeli olumsuz etkisi olduğunu göstermiştir.

Hong vd. (2021), Covid-19'un borsa performansı üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmalarında, ABD ekonomisi özelinde 1 Ocak 2019-30 Haziran 2020 dönemine ait veri setini kullanmışlardır. Bai ve Perron (1998, 2003), Elliot ve Mullier (2004) ve Xu (2013) tarafından geliştirilen metodolojiden yararlanılarak yapılan analizlerden elde edilen bulgular, salgının yaratmış olduğu ekonomik koşulların piyasa verimsizliği ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Davis vd. (2021), Şubat ortasından Mayıs 2020'nin sonlarına kadar 35 ülke özelinde hisse senetleri değerlerine ilişkin günlük verileri ele almışlardır. Küresel hisse senedi fiyatları, sosyal hareketlilik azalmadan önce 17 Şubat'tan 12 Mart'a kadar yüzde 30 düşüş göstermiştir. Bu tarihten sonraki 11 gün içinde, hisse senetleri yüzde 10 daha değer kaybetmiştir. 23 Mart'tan 9 Nisan'a kadar, hisse senetleri kayıpları kısmen giderilmiş olup; 9 Nisan'dan Mayıs sonuna kadar hisse senetleri fiyatları önemli ölçüde yükselmiştir.

Baker vd. (2020), araştırmalarında ABD borsasının Covid-19'a önceki salgınlara göre çok daha güçlü tepki vermediğine ilişkin kanıtlar sunmuşlardır.

Khatatbeh vd. (2020), küresel hisse senedi piyasalarının Covid-19'a ani tepkisini ampirik olarak incelemeyi amaçlamışlardır. Hisse senedi fiyat endekslerinin günlük veri serilerini kullanan yazarlar, salgının hisse senedi getirileri üzerinde önemli bir olumsuz etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, bu etkiler, hasatlığın küresel bir salgın olarak ilan edildiği 11 Mart 2020'de daha da belirgin olmuştur.

He vd. (2020) yapmış oldukları çalışmalarında; Çin Halk Cumhuriyeti, İtalya, Güney Kore, Fransa, İspanya, Almanya, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri özelinde Covid-19'un

borsa üzerindeki etkisini geleneksel t-testleri ve parametrik olmayan Mann-Whitney testleri kullanarak araştırmışlardır. Elde edilen bulgular, COVID-19'un etkilenen ülkelerin borsaları üzerinde olumsuz ancak kısa vadeli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Topçu ve Gülal (2020) çalışmasında, 10 Mart 2020-30 Nisan 2020 döneminde COVID-19'un gelişmekte olan borsalar üzerindeki etkisini sıradan en küçük kareler (OLS) regresyon yöntemini kullanarak tahmin etmiştir. Analiz sonuçları, salgının gelişen borsalar üzerindeki olumsuz etkisinin giderek azaldığını göstermektedir.

Öztürk vd. (2020)'e göre, borsa endeksi Türkiye'de bildirilen vaka sayısından etkilenmektedir. Çalışma kapsamında yöntem olarak sabit etkili regresyon tekniği tercih edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, metal ürünler, makine ve spor, sigorta ve bankacılık sektörleri Covid-19 salgınından en çok etkilenen sektörler olmuşlardır. Ayrıca salgından en az etkilenen sektörler ise yiyecek-içecek, toptan ve perakende ticaret ve gayrimenkul yatırım sektörleri olarak sıralanmıştır.

Anh ve Gan (2020) çalışmalarında, 30 Ocak 2020-30 Mayıs 2020 dönemine atı verileri ele almışlardır. Panel veri regresyon modelleri kullanılarak yapılan analizlerde Covid-19'un Vietnam'ın hisse senedi getirileri üzerinde önemli ve olumsuz bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca finans sektörünün COVID-19 salgını sırasında Vietnam borsasında en çok etkilenen sektörlerinin başında gelmiştir.

Özdemir (2020) çalışmasında, 12 Mart 2020-31 Ağustos 2020 dönemi için Covid-19 salgınının BIST sektör endekslerine etkisini incelemiştir. Değişkenler arasındaki ilişki Hatemi-J asimetrik nedensellik testi ile tahmin edilmiş olup; analiz sonuçları vaka sayısı ile mali endeks arasındaki negatif ilişkiye işaret etmektedir. Bunun yanı sıra vefat sayısı ile mali endeks arasında ise nedensellik ilişkisi bulunmamıştır.

### 4. Veri Seti, Yöntem ve Bulgular

Çalışmada; Türkiye özelinde BIST-100 endeksi, hasta sayısı ve vefat sayısı 17 Mart 2020-21 Ocak 2021 dönemi için günlük olarak ele alınmıştır. BIST-100 endeksi bağımlı, hasta sayısı ve vefat sayısı açıklayıcı değişken olarak ele alınmıştır. Covid-19'un BIST-100 endeksi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılan veriler Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Veri Seti

<b>BIST-100</b>	Bu değişken, Borsa İstanbul'da işlem gören piyasa ve işlem hacmi açısından en yüksek 100 hisse senedinin performansını göstermektedir.
<b>Vefat sayısı</b>	Covid-19 kaynaklı günlük vefat sayısını temsil etmektedir.
<b>Hasta sayısı</b>	Covid-19 kaynaklı günlük hasta sayısını ifade etmektedir.

\* BIST-100 endeksine ilişkin değerler, <https://tr.investing.com/indices/ise-100> adresinden temin edilmiştir.

\*\* Vefat sayısı ve hasta sayısına ilişkin değerler, <https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66935/genel-koronavirus-tablosu.html> adresinden alınmıştır.

Değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 4'te ortaya konmaktadır.



Tablo 4. Tanımlayıcı İstatistikler

	BIST-100	Hasta Sayısı	Vefat Sayısı
Ortalama	1159.173	2187.854	80.65728
Medyan	1126.990	1614.000	62.00000
Max.	1569.350	7381.000	259.0000
Min.	842.4600	168.0000	2.000000
Std.	167.7594	1596.192	70.53388
Çarpıklık	0.614772	1.572033	1.112261
Basıklık	3.015449	4.704869	3.128271
Jarque-Bera	13.41915	113.5266	44.06395
Toplam	246903.9	466013.0	17180.00
Sum Sq. Dev.	5966360.	5.40E+08	1054706.
Gözlemler	213	213	213

Serinin durağan seviyelerinin incelenmesi ekonometrik duraganlığı Augmented Dickey-Fuller (ADF) testi kullanılarak incelemelerde önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, serinin duraganlığı Augmented Dickey-Fuller (ADF) testi kullanılarak test edilmiştir. Bu testlerin sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. ADF Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	I0	I1
BIST-100	0.4812	0.0000
Hasta sayısı	0.6300	0.0000
Vefat Sayısı	0.6830	0.0000

Tablo 5 incelendiğinde, BIST-100 değişkeninin düzeyde duragan olmadığı anlaşılmaktadır. Bu nedenler değişkenlerin birinci farkları alınarak duragan hale getirilmiştir. Ancak eş bütünleşme testini uygulamadan önce, aşağıdaki tablodaki (bkz. tablo 6) gecikme uzunluğu seçimine bakmamız gerekmektedir.

Tablo 6. Uygun Gecikme Uzunluğunun Belirlenmesi

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC
0	-4124.738	NA	6.19e+13	40.27061	40.31924
1	-2962.849	2278.435	8.07e+08	29.02292	29.21744*
2	-2948.143	28.40914	7.64e+08*	28.96724*	29.30765
3	-2945.395	5.226110	8.12e+08	29.02825	29.51454
4	-2941.916	6.517190	8.57e+08	29.08211	29.71429
5	-2931.953	18.37173*	8.49e+08	29.07271	29.85078

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC
6	-2928.086	7.016725	8.94e+08	29.12279	30.04675
7	-2922.141	10.61334	9.21e+08	29.15260	30.22245
8	-2917.634	7.915733	9.64e+08	29.19643	30.41216

Tablo 6'ya göre, AIC ikinci gecikmede en küçük değere sahip olduğundan ikinci gecikme seçilmiştir. Değişkenler aynı düzeyde durağan hale getirildikten sonra değişkenler arasındaki

ilişkiyi incelemek amacıyla eş bütünleşme testi uygulanmıştır. Eş bütünleşme testi sonucu Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Eş Bütünleşme Testi Sonuçları

Hipotez	Trace	0.05		
No. of CE(s)	Öz değer	İstatistik	Kritik Değer	Olasılık**
Hiçbiri*	0.101788	40.23932	29.79707	0.0022
En çok 1*	0.072589	17.69611	15.49471	0.0229
En çok 2	0.008870	1.870913	3.841466	0.1714

Tablo 7 incelendiğinde, değişkenler arasında ortak entegrasyon bulunmaktadır. AS'deki değer, sıfır hipotezini reddeden tablonun ilk satırındaki %5'ten küçüktür. Değişkenler

arasında ortak entegrasyon olduğunda FMOLS veya DOLS yöntemleri kullanılabilir. FMOLS ve DOLS sonuçları Tablo 8'de özetlenmektedir.

Tablo 8. FMOLS ve DOLS Sonuçları

FMOLS Sonuçları				
Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-istatistik	Olasılık
Hasta Sayısı	-0.045956	0.013227	-3.474374	0.0006
Vefat Sayısı	2.470293	0.299496	8.248155	0.0000
C	1059.234	26.99799	39.23380	0.0000
r <sup>2</sup>	0.594353	Ortalama bağımlı değişken		1157.323
Düzeltilmiş r <sup>2</sup>	0.590472	S.D. bağımlı değişken		165.9621
S.E. of regresyon	106.2064	Kalan toplamın karesi		2357480.
Uzun dönem varyans	51786.96			
DOLS Sonuçları				
Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-istatistik	Olasılık
Hasta Sayısı	-0.045599	0.016345	-2.789676	0.0058
Vefat Sayısı	2.411988	0.341971	7.053199	0.0000
r <sup>2</sup>	1062.730	28.81965	36.87518	0.0000
Düzeltilmiş r <sup>2</sup>	0.603868	Ortalama bağımlı değişken		1156.739

S.E. of regression	0.588102	S.D. bağımlı değişken	163.0743
S.E. of regresyon	104.6600	Kalan toplamın karesi	2201696.
Uzun dönem varyans	51524.73		

Tablo 8'deki FMOLS ve DOLS sonuçları incelendiğinde hasta sayısının BİST-100 endeksine olumsuz etkisi bulunmaktadır. Buna göre, hasta sayısı bir birim arttığında BİST-100 endeksi 0,04 birim değer kaybetmektedir.

## 5. Sonuç, Değerlendirme ve Öneriler

2019 yılında Çin'de ortaya çıkan ve bütün dünya yayılan Covid-19 salgını, milyonlarca insanın hayatını kaybetmesine neden olurken; aynı zamanda küresel ekonominin ciddi bir resesyona girmesine zemin hazırlamıştır. Salgından bu yana tedarik zincirlerindeki aksaklıklar ve turizm sektöründeki daralma başta olmak üzere milyonlarca insan işini kaybederek geçim sıkıntısı ile mücadele etmek zorunda kalmıştır. Bunun yanı sıra salgının seyri ve ne zaman sonuçlanacağına ilişkin belirsizlikler küresel ekonomideki şok dalgasını devam ettirmektedir. Covid-19 salgınından kaynaklanan ekonomik ortamda, küresel yoksulluk 1998 yılından bu yana ilk kez artış eğilimine girmiştir. Salgınla mücadele kapsamında okulların kapatılması, evde eğitime eşit olmayan erişim ve aileler üzerindeki ekonomik baskı gelecek dönemlerde sosyo-ekonomik maliyetler yaratabilecektir. Salgının kontrol altına alınabilmesi amacıyla yurt içi ve yurt dışı seyahatlere getirilen sınırlandırmalar nedeniyle salgının ilk dönemlerinde havayolu seferlerinde keskin düşüşler yaşanmıştır. Bunun yanı sıra doğrudan yabancı yatırımların daralması ve tedarik zincirlerindeki aksaklıklar ülkeleri ekonomik açıdan zor durumda bırakmıştır.

Bu çalışmada, Covid-19 süresinin BİST-100 indeksi üzerindeki etkileri konu edinmiştir. Çalışma kapsamında 17 Mart 2020-21 Ocak 2021 dönemi için BİST-100 endeksi bağımlı, hasta sayısı ve vefat sayısı açıklayıcı değişken olarak ele alınmıştır. FMOLS ve DOLS analiz sonuçları hasta sayısının BİST-100 endeksi üzerinde olumsuz etki yarattığı ortaya koymaktadır. Buna göre hasta sayısı bir birimlik artış BİST-100 endeksinin 0,04 birim değer kaybetmesiyle sonuçlanacaktır.

Covid-19 salgınının etkileri; hastalık özelliklerine, demografik özelliklere ve ülkeler arası gelişmişlik düzeyine bağlı olarak değişmektedir. Söz konusu etkilerin azaltılabilmesi için aşağıda belirtilen çözüm önerilerinin olumlu sonuçlar vereceği düşünülmektedir:

- Vergi borçlarının ertelenmesi ya da vergi muafiyeti,
- Gümrük tariflerinde indirim
- Tedarik zincirlerinin genişletilmesi
- Dış ticarete yeni pazar arayışı
- Özel sektöre yönelik kredi desteği,
- Firmaların e-ticaret faaliyetlerine yönelmeleri,
- Nakdi yardım gibi iç talebi artıracak uygulamalar.

Covid-19 salgını, gerek mal piyasasında gerekse de işgücü piyasasında arz-talep dengesinin bozulmasına yol açmıştır.

Üretici ve tüketici talebinin dinamik bir karaktere sahip olması bu dengesizliğin temelini oluşturmaktadır. Yukarıda sıralanan çözüm önerilerinin dikkate alınması arz-talep arasındaki dengesizliğin azaltılması katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte; alınacak tedbirlerin daha erken ve daha kapsamlı olması uygulamaya konulacak politikaların başarı şansını arttıracaktır.

## Kaynakça

- Abiad, A., Arao, Mia., Dagli, S., Ferrarini, B., Noy, I., Osewe, P., Pagaduan, J., Park, D. ve Platitas, R. (2020). The Economic Impact of the COVID-19 Outbreak on Developing Asia. *ADB Brief*, No: 128.
- Anh, D. L. T. Ve Gan, C. (2020), The impact of the COVID-19 lockdown on stock market performance: evidence from Vietnam. *Journal of Economic Studies*.
- Baker, S. R., Bloom, N., Davis, S. J., Kost, K., Sammon, M. ve Viratyosin, T. (2020). The Unprecedented Stock Market Reaction to Covid-19. *The Review of Asset Pricing Studies*, 10(4), 742-758.
- Davis, S. J., Liu, D. ve Sheng, X. S. (2021). Stock Prices and Economic Activity in the Time of Coronavirus. *Becker Friedman Institute*, Working Paper, No. 2020-156.
- Economist Intelligence Unit (2020). How Well Have OECD Countries Responded To The Coronavirus Crisis?. [https://www.eiu.com/public/topical\\_report.aspx?campaignid=response-covid-rank](https://www.eiu.com/public/topical_report.aspx?campaignid=response-covid-rank) (Erişim: 15.01.2021)
- Eichenbaum, M., Rebelo, S. ve Trabandt M. (2020). The Trade-Off Between Economic and Health Outcomes of the Covid-19 Epidemic. <https://voxeu.org/article/trade-between-economic-and-health-outcomes-covid-19-epidemic> (Erişim: 11.01.2021)
- Eurostat (2021). Impact of Covid-19 Crisis On Industrial Production. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Impact\\_of\\_Covid-19\\_crisis\\_on\\_industrial\\_production](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Impact_of_Covid-19_crisis_on_industrial_production) (Erişim: 06.01.2021)
- He, Q., Liu, J., Wang, S. ve Yu, J. (2020). The Impact of Covid-19 on Stock Markets. *Economic and Political Studies*, 8(3), 275-288.
- Hong, H., Bian, Z. ve Lee, C. (2021). Covid-19 and Instability of Stock Market Performance: Evidence from the U.S. *Financial Innovation*, 7, 1-18.
- Investing (2021). BIST 100. <https://tr.investing.com/indices/ise-100> (Erişim 22.02.2021)
- Hatmanu, M. ve Cautisanu, M. (2021). The Impact of Covid-19 Pandemic on Stock Market: Evidence from Romania. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 1-22.
- Khatabeh, I. N., Hani, M. B. ve Abu-Alfoul, M. N. (2020). The Impact of Covid-19 Pandemic on Global Stock Markets: An Event Study. *International Journal of Economics and Business Administration*, VIII(4), 505-514.
- König, M. ve Winkler A. (2020). Covid-19 and Economic Growth: Does Good Government Performance Pay Off?. *Intereconomics*, 55, 224-231.

- OECD (2020). Global Economy Faces Gravest Threat Since the Crisis as Coronavirus Spreads. <https://www.oecd.org/economy/global-economy-faces-gravest-threat-since-the-crisis-as-coronavirus-spreads.htm> (Erişim: 25.12.2020)
- OECD (2021). Data. <https://data.oecd.org> (Erişim: 20.12.2020)
- Özdemir, L. (2020). Covid-19 Pandemisinin BIST SEktör Endeksleri Üzerine Etkisi. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(3), 546-556.
- Öztürk, Ö., Şişman, M. Y., Uslu, H. ve Çıtak, F. (2020). Effects of Covid-19 Outbreak on Turkish Stock Market: A Sectoral-Level Analysis. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 56-86.
- T.C. Sağlık Bakanlığı (2021). Genel Koronavirüs Tablosu. <https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66935/genel-koronavirus-tablosu.html> (Erişim: 22.01.2021)
- Topçu, M. ve Gülal, Ö. S. (2020). The Impact of Covid-19 on Emerging Stock Markets. *Finance Research Letters*, 36.
- UNCTAD (2020). *Impact Of The Covid-19 Pandemic On Trade And Development*, New York: United Nations Publications.
- World Bank (2020). *Global Economic Prospects*, Washington: International Bank for Reconstruction and Development.
- World Health Organization (2021). Coronavirus Disease (Covid-19) Dashboard. <https://covid19.who.int/table> (Erişim: 10.01.2021)





# Fuzzy Fonksiyon Dönüşüm Dizilerinin $\mu$ . Dereceden Kuvvetli $p$ -Lacunary İstatistiksel Yakınsaklığı\*

Abdulkadir Karakaş<sup>1\*</sup>, Hakkın Güloğlu<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Siirt Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Siirt, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0630-8802), [kadirkarakas21@hotmail.com](mailto:kadirkarakas21@hotmail.com)

<sup>2</sup> Siirt Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7893-3730), [hakanguloglu35@gmail.com](mailto:hakanguloglu35@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 22 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 9 Ekim 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.956126)

**ATIF/REFERENCE:** Karakaş, A. & Güloğlu, H. (2021). Fuzzy Fonksiyon Dönüşüm Dizilerinin  $\mu$ . Dereceden Kuvvetli  $p$ -Lacunary İstatistiksel Yakınsaklığı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 823-830.

## Özet

Bu çalışmada, fuzzy küme, fuzzy dizileri ve fuzzy sayı dizilerinin yakınsaklığı ve istatistiksel yakınsaklığı gibi bilinen kavramlar incelenerek, literatürde bilinen fuzzy fonksiyon dizilerinin tanımı ve dizilerin noktasal yakınsaklığı kavramı kullanılarak, fuzzy fonksiyon dizilerinin  $\mu$ . dereceden kuvvetli  $p$  –lacunary istatistiksel yakınsaklık ile fuzzy fonksiyon dizilerinin  $\mu$ . dereceden lacunary istatistiksel yakınsaklık kavramları tanımlanarak  $S_{\Phi}^{\mu}(f)$ ,  $N_{\Phi}^{\mu}(f)$  ve  $N_{\Phi,p}^{\mu}(f)$  uzayları arasında bazı kapsama bağıntıları ile ilgili sonuçlar elde edilerek bunlar arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fuzzy sayı dizisi, İstatistiksel yakınsaklık, Lacunary istatistiksel yakınsaklık, Fuzzy sayı dizisi, Fuzzy dönüşüm dizisi.

## $\mu$ . Order Strong $p$ -Lacunary Statistical Convergence of Fuzzy Function Mapping Sequences

### Abstract

In this paper, we investigate the known concepts such as fuzzy set, fuzzy sequences and convergence and statistical convergence of fuzzy number sequences. Additionally, we define  $\mu$ . order strong  $p$ -lacunary statistical convergence and  $\mu$ . order the lacunary statistical convergence of the order of sequences of fuzzy functions by using the definition of fuzzy function sequences and the concept of point convergence of sequences known in the literature. Then, we investigate the results about some coverage relations between the  $S_{\Phi}^{\mu}(f)$ ,  $N_{\Phi}^{\mu}(f)$  and  $N_{\Phi,p}^{\mu}(f)$  spaces and we present the relations between.

**Keywords:** Fuzzy number sequence, Statistical convergence, Lacunary statistical convergence, Fuzzy number sequence, Fuzzy transformation sequence.

\* Sorumlu Yazar: [kadirkarakas21@hotmail.com](mailto:kadirkarakas21@hotmail.com)

\*\*Bu çalışma, Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir KARAKAŞ danışmanlığında, Hakkın GÜLOĞLU tarafından hazırlanan Siirt Üniversitesi Fen bilimler Enstitüsüne sunulan “FUZZY FONKSİYON DÖNÜŞÜM DİZİLERİNİN KUVVETLİ P-LACUNARY İSTATİSTİKSEL YAKINSAKLIĞI” başlıklı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

## 1. Giriş

Zadeh [1] tarafından ilk defa fuzzy küme kavramı tanımlandı. Zadeh tarafından çalışılan bu makale belirsizlik kavramının ölçülmesinde önemli bir çalışmadır. Zadeh, bu çalışmasında kesin olmayan sınırlara sahip nesnelerin oluşturduğu fuzzy küme kavramını ve bu kümenin cebirsel özelliklerini incelemiştir.

Matloka [2] ilk defa fuzzy sayı dizilerinin cebirsel özelliklerini incelemiştir. Fuzzy sayı dizilerinin, sınırlı ve yakınsak dizileride Nanda [3] tarafından çalışılmış ve bu uzayların tam metrik uzaylar olduğu gösterilmiştir. Daha sonra Nuray ve Savaş [4] tarafından fuzzy sayı dizilerinin istatistiksel yakınsaklık ve istatistiksel Cauchy kavramları verildi ve fuzzy sayı dizilerinin istatistiksel yakınsaklık dizilerin uzayının bazı cebirsel özellikleri incelendi. Subrahmanyam [5] fuzzy sayı dizilerinin toplanabilme ile ilişkisini inceledi. Fuzzy sayı dizilerinin kuvvetli  $p$ -Cesàro toplanabilme tanımı ve istatistiksel yakınsaklık kavramı ile olan ilişkisi de Kwon [6] tarafından incelendi. Fuzzy sayı dizileri pek çok yazar tarafından Aytar S. and Pehlivan [7], Altin v.d. [8], Karakaş, A. v.d. [9] çalışıldı.

Matloka [30] çalışmasında fuzzy dönüşüm dizilerini tanımlayarak, bu dizilerin noktasal yakınsaklığı kavramını verdi. Daha sonra Altın, Et ve Tripathy [31] fuzzy dönüşüm dizilerinin istatistiksel yakınsaklık kavramını tanımlayarak, bu dizi uzayının cebirsel özelliklerini incelediler. Fuzzy dönüşüm dizileri pek çok yazar tarafından ([34], [35], [36], [37]) çalışılmıştır.

1935 yılında ilk olarak Zygmund [10] tarafından istatistiksel yakınsaklık tanımı verildi. Aynı zamanda bu kavram Steinhaus [11] tarafından tanıtıldı. Bu tanımdan faydalanarak Fast [12] kompleks terimli diziler için bu kavramı verdi. İstatistiksel yakınsaklık daha sonra Fridy [13], Salat [14], Connor [15], Tripathy [16] gibi birçok matematikçi tarafından çalışıldı. İlk olarak dereceli istatistiksel yakınsaklık için derece kavramı Gadjev ve Orhan [17] tarafından çalışılmıştır. Daha sonra sayı dizileri için  $\mu$ . dereceden doğal yoğunluk, istatistiksel yakınsaklık ve Cesàro toplanabilme kavramları Çolak [18] tarafından verildi. Freedman, A.R., Sember, J.J. and Raphael, M., [19] ve Fridy, J. A. and Orhan, C., [20] tarafından lacunary istatistiksel yakınsaklık kavramı ve kuvvetli lacunary istatistiksel yakınsaklık kavramı tanımlanarak bazı kapsama teoremleri verildi. Noktasal ve Düzgün İstatistiksel yakınsaklık kavramı Duman ve Orhan [21], Gökhan ve Güngör [22] tarafından verildi. Daha sonra bu kavram Çinar v.d. [23] tarafından çalışıldı.

$H^* \subset \mathbb{N}$  olmak üzere bir  $H^*$  kümesinin doğal yoğunluğunun

$$\delta(H^*) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} |\{t \leq n: t \in H^*\}|$$

olduğunu ve  $|\{t \leq n: t \in H^*\}|$  kavramının  $H^*$  kümesinin  $n$  den büyük olmayan elemanlarının sayısını gösterdiğini biliyoruz. Eğer  $\delta(H^*) = 0$  ise  $H^*$  kümesine sıfır yoğunluklu küme olarak adlandırılır. Sıfır yoğunluklu küme  $\delta_0$  ile gösterilir [13].

$x = (x_t)$  dizisinin terimleri bir  $P$  özelliğini sıfır yoğunluklu bir küme hariç bütün  $t$  ler için sağlıyorsa,  $(x_t)$  dizisi hemen hemen her  $t$  için  $P$  özelliğini sağlıyor denir ve  $h.h.t$  şeklinde ifade edilir, ([13], [14]). Doğal yoğunluk kavramından

faydalanılarak istatistiksel yakınsaklık kavramı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$(x_t)$  kompleks terimli bir dizi olsun, her  $\varepsilon > 0$  için

$$\delta(\{t \in \mathbb{N}: |x_t - U| \geq \varepsilon\}) = 0$$

olacak şekilde bir  $U$  sayısı varsa  $(x_t)$  dizisi  $U$  sayısına istatistiksel yakınsaktır denir ve  $St - \lim x = U$  şeklinde gösterilir. İstatistiksel yakınsak dizilerin uzayı  $St$  ile gösterilir

Aynı zamanda Çolak [18]  $x = (x_t)$  ve  $0 < \mu \leq 1$  olmak üzere her  $\varepsilon > 0$  için

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^\mu} |\{t \leq n: |x_t - U| \geq \varepsilon\}| = 0$$

olacak şekilde bir  $U$  sayısı mevcut ise, bu taktirde  $(x_t)$  dizisi  $U$  ye  $\mu$ . dereceden istatistiksel yakınsaklık tanımını vererek bu yakınsaklığı  $S^\mu - \lim(x_t) = U(x_t)$  şeklinde tanımlamıştır.  $\mu$ . dereceden istatistiksel yakınsak tüm dizilerin kümesini  $S^\mu$  ile göstermiştir.

Çolak [18]  $\mu$ . dereceden istatistiksel yakınsaklık kavramını Cesàro toplanabilirliğe uygulayarak  $0 < \mu \leq 1$  ve  $p \in \mathbb{R}^+$  olmak üzere, eğer

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^\mu} \sum_{t=1}^n |x_t - U|^p = 0,$$

olacak şekilde bir  $U$  sayısı var ise, bu taktirde  $x = (x_t)$  dizisi  $\mu$ . dereceden kuvvetli  $p$ -Cesàro toplanabilir olduğunu tanımlamıştır.  $\mu$ . dereceden kuvvetli Cesàro toplanabilirliğin  $\mu = 1$  için kuvvetli  $p$ -Cesàro toplanabilirliğe indirgenliğini ve  $\mu$ . dereceden kuvvetli  $p$ -Cesàro toplanabilir dizilerin uzayını  $W_p^\mu$  ile göstermiştir. Yani

$$W_p^\mu = \left\{ x = (x_t): \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^\mu} \sum_{t=1}^n |x_t - U|^p = 0, \text{ enaz bir } U \text{ için} \right\}.$$

Pozitif tamsayıların artan bir dizisi  $\Phi = (t_r)$  olsun. Eğer  $t_0 = 0$  olmak üzere  $r \rightarrow \infty$  için  $h_r = t_r - t_{r-1}$  ise  $\Phi = (t_r)$  dizisine lacunary dizisi denir, [19].

$$\sum_{i=t_{r-1}+1}^{t_r} |x_i| = \sum_{i \in I_r} |x_i|$$

alınacak ve uygunluk için bu toplam kısaca  $\sum_{I_r} |x_i|$  ile ve  $\frac{t_r}{t_{r-1}}$  oranı da  $q_r$  ile gösterilecektir.  $\Phi = (t_r)$  lacunary dizisi tarafından belirlenen aralıklar  $I_r = (t_{r-1}, t_r]$  şeklinde gösterilecektir. Bilindiği gibi Lacunary dizi uzayları üzerinde bir çok yazar çalışmışlardır Nuray [24], Sengül v.d [25], Bhardwaj [26], Das [27] vd.

Sengül, H. ve Et, M., [25]  $\mu$  dereceden lacunary istatistiksel yakınsaklığı  $\Phi = (t_r)$  bir lacunary dizi,  $r \rightarrow \infty$  için  $h_r = t_r - t_{r-1}$ ,  $I_r = (t_{r-1}, t_r]$  ve  $0 < \mu \leq 1$  olsun. Her  $\varepsilon > 0$  için

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r^\mu} |\{t \in I_r: |x_t - U| \geq \varepsilon\}| = 0$$

şeklinde tanımlayarak ve aynı zamanda  $\mu$ . dereceden lacunary istatistiksel yakınsak ise  $S_\Phi^\mu - \lim x_t = U$  veya  $x_t \rightarrow U(S_\Phi^\mu)$  ile olduğunu göstermişlerdir.  $\mu$ . dereceden lacunary istatistiksel yakınsak dizilerin uzayı  $S_\Phi^\mu$  ile gösterilir, [25]. Ayrıca  $\mathbb{N}$  nin bir  $H^*$  alt kümesinin  $\mu$  dereceden  $\Phi$ -yoğunluğu

$$\delta_{\Phi}^{\mu}(H^*) = \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r^{\mu}} |\{t \in I_r : t \in H^*\}|$$

şeklinde tanımlanır. Şimdi de kuvvetli lacunary yakınsaklık hakkında biraz bilgi verelim. Herhangi bir  $\Phi = (t_r)$  lacunary dizisi ve  $I_r = (t_{r-1}, t_r]$  için

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r} \sum_{t \in I_r} |x_t - U|^p = 0$$

olacak şekilde bir  $U$  sayısı varsa  $(x_t)$  dizisi  $U$  sayısına kuvvetli lacunary yakınsaktır denir ve kuvvetli lacunary yakınsak dizilerin uzayı  $N_{\Phi}$  ile gösterilir, yani

$$N_{\Phi} = \left\{ x = (x_t) : \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r} \sum_{t \in I_r} |x_t - U|^p = 0, \text{ enaz bir } U \text{ için} \right\}$$

dır, [19]. Sengül, H. and Et, M., [25] herhangi bir  $\Phi = (t_r)$  lacunary dizisi,  $I_r = (t_{r-1}, t_r]$  ve  $0 < \mu \leq 1$  olsun.  $p \in \mathbb{R}^+$  olmak üzere

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r^{\mu}} \sum_{t \in I_r} |x_t - U|^p = 0$$

olacak şekilde bir  $U$  sayısı varsa  $(x_t)$  dizisi  $U$  sayısına  $\mu$  dereceden kuvvetli  $p$ -lacunary yakınsak olduğunu ve  $\mu$  dereceden kuvvetli  $p$ -lacunary dizilerin uzayını  $N_{\Phi,p}^{\mu}$  ile göstermişlerdir, yani

$$N_{\Phi,p}^{\mu} = \left\{ x = (x_t) : \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r^{\mu}} \sum_{t \in I_r} |x_t - U|^p = 0, \text{ enaz bir } U \text{ için} \right\}$$

dır. Eğer  $\Phi = (2^r)$  alırsak  $\mu$  dereceden kuvvetli  $p$ -Cesaro toplanabilir dizilerin kümesi

$$W_p^{\mu} = \left\{ x = (x_t) : \exists L \in \mathbb{R}, \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^{\mu}} \sum_{t=1}^n |x_t - U|^p = 0 \right\}$$

elde edilir.

$\chi$ , elemanları  $x$  ile gösterilmiş bir nesnel kümesi olsun.  $\chi$  kümesinde bir  $A$  fuzzy kümesi,  $\chi$  deki her bir noktayı  $[0,1]$  aralığındaki bir reel sayıya karşılık getiren bir  $X_A(x)$  karakteristik fonksiyonu ile karakterize edilir.  $\chi$  deki bir  $A$  fuzzy kümesinden bahsedilirken  $X_A: \chi \rightarrow [0,1]$  şeklinde bir karakteristik fonksiyon daima mevcuttur. Bu fonksiyon  $x \in A$  için  $X_A(x) \in [0,1]$ ,  $x \notin A$  için  $X_A(x) = 0$  biçiminde tanımlanır. Bu şekilde tanımlanan karakteristik fonksiyona bundan sonra üyelik fonksiyonu diyeceğiz.

Üyelik fonksiyonunun tanımından yararlanarak bir  $A$  fuzzy kümesi,

$$A = \{x \in \chi : X_A(x) \in [0,1]\}$$

şeklinde ifade ederiz. Burada  $X_A(x)$  in değeri  $A$  fuzzy kümesindeki  $x$  noktasının üyelik derecesini göstermektedir. Buna göre  $X_A(x)$  in 1 e en yakın değeri,  $A$  fuzzy kümesindeki  $x$  in en yüksek üyelik derecesidir. Eğer  $E$  kümesi klasik anlamda *e-ISSN: 2148-2683*

bir küme ise üyelik fonksiyonu sadece 0 ve 1 değerlerini alır. Burada  $X_A(x) = 1$  veya  $X_A(x) = 0$  olması  $x$  in  $A$  ya ait olması veya olmaması demektir. Buna göre  $X_A(x)$ ,  $A$  kümesinin bilinen karakteristik fonksiyonuna indirgenmiş olur, [1].

$C(R^n)$ ,  $R^n$  öklid uzayının boş olmayan, kompakt ve konveks bütün alt kümelerinin ailesini gösterebilir. Bu takdirde  $C(R^n)$  üzerinde toplama ve skalerle çarpma her  $B, C \in C(R^n)$  için

$$B + C = \{t : t = x + y, x \in B, y \in C\}$$

ve her  $B \in C(R^n)$  ve her  $\lambda \in [0,1]$

$$\lambda B = \{z : z = \lambda x, x \in B\}$$

şeklinde tanımlanır. Buradaki toplama ve çarpma işlemleri  $C(R^n)$  üzerinde bir lineer yapı üretir.  $B$  ve  $C$  kümeleri arasındaki uzaklık

$$\delta_{\infty}(B, C) = \max \left\{ \sup_{b \in B} \inf_{c \in C} \|b - c\|, \sup_{c \in C} \inf_{b \in B} \|b - c\| \right\}$$

Hausdorff metriğiyle tanımlanır. Burada  $\|\cdot\|$  sembolü ile  $R^n$  deki alışılmış öklid normu gösterilmektedir.  $(C(R^n), \delta_{\infty})$  uzayının bir tam metrik uzay olduğu bilinmektedir. Bir fuzzy sayısının tanımı aşağıdaki biçimde verilebilir.

$n$ -boyutlu öklid uzayı  $R^n$  üzerindeki bir fuzzy sayı aşağıdaki şartları sağlayan bir  $X: R^n \rightarrow [0,1]$  fonksiyonudur:

i)  $X$  normaldir, yani  $X(x_0) = 1$  olacak şekilde en az bir  $x_0 \in R^n$  mevcuttur,

ii)  $X$  fuzzy konvektir, yani herhangi  $x, y \in R^n$  ve  $0 \leq \mu \leq 1$  için

$$X(\mu x + (1 - \mu)y) \geq \min\{X(x), X(y)\}$$

eşitsizliği sağlanır,

iii)  $X$  üst-yarı-süreklidir,

iv)  $X^0 = \{x \in R^n : X(x) > 0\}$  kümesinin kapanışı kompakttır.  $\mathbb{R}^n$  üzerindeki bütün fuzzy sayıların kümesi  $L(R^n)$  ile gösterilir.  $0 \leq \alpha \leq 1$  için  $X^{\alpha}$  kesim kümesini gözönüne alalım. Tanımdan,  $X^{\alpha} \in C(R^n)$  olduğu açıktır.  $L(R^n)$  deki toplama ve skaler ile çarpma  $X, Z \in L(R^n)$  ve  $t \in R$  olmak üzere

$$[X + Z]^{\alpha} = X^{\alpha} + Z^{\alpha} \text{ ve } [tX]^{\alpha} = tX^{\alpha}$$

şeklinde tanımlanır. Şimdi, her bir  $1 \leq q < \infty$  için

$$d_q(X, Z) = \left( \int_0^1 \delta_{\infty}(X^{\alpha}, Z^{\alpha})^q d\alpha \right)^{\frac{1}{q}}$$

ve

$$d_{\infty} = \sup_{0 \leq \alpha \leq 1} \delta_{\infty}(X^{\alpha}, Z^{\alpha})$$

metriklerini tanımlayalım.  $q \leq s$  için  $d_q \leq d_s$  olmak üzere

$$d_{\infty}(X, Z) = \lim_{q \rightarrow \infty} d_q(X, Z)$$

olduğu açıktır.  $(C(R^n), d_q)$  metrik uzayı tamdır, [28]. Bundan sonraki kısımlarda  $d_q$  yerine  $d$  notasyonu kullanılacaktır. Aynı zamanda  $d$  metriği aşağıdaki özellikleri sağlar.

$$d(cX, cZ) = |c|d(X, Z) \tag{1}$$

$$d(X + Z, Y + Z^*) \leq d(X, Y) + d(Z, Z^*). \quad (2)$$

Bir fuzzy dönüşüm dizisi, tanım kümesi pozitif tamsayılar kümesi ve değer kümesi de fuzzy dönüşümler kümesi olan bir fonksiyondur. Bir fuzzy dönüşümler dizisini  $(f_n)$  ile göstereceğiz.  $(f_n)$  fuzzy dönüşümler dizisinin terimlerinin her birinin tanım kümesindeki bir  $t$  sayısına karşılık gelen bir  $(f_n(t))$  fuzzy sayı dizisi vardır. Eğer bir  $T$  kümesindeki her bir  $t$  sayısı için  $(f_n(t))$  yakınsak ve  $f(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} f_n(t)$  ise bu takdirde  $(f_n)$  dizisi  $T$  üzerindeki  $f$  ye noktasal yakınsaktır, [30].

Şimdide noktasal istatistiksel yakınsaklık kavramını verelim.

$(f_n)$  bir fuzzy sayı değerli fonksiyon dizisi ve  $f$  de fuzzy sayı değerli bir fonksiyon olsun. Eğer  $\forall x \in a, b]$  ve herhangi bir  $\varepsilon > 0$  için,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} |\{t \leq n: d(f_n(x), f(x)) \geq \varepsilon\}| = 0$$

ise  $(f_n)$  dizisi  $f$  e noktasal istatistiksel yakınsaktır denir.

Bu durumda

$$St_n - \lim_{n \rightarrow \infty} f_n(t) = f(t) \text{ veya } f_n(t) \xrightarrow{St_n} f(t)$$

şeklinde gösterilir.

Şimdi yukarıdaki tanıma denk olan tanımları verelim:  $\forall x \in [a, b], \forall \varepsilon > 0, \exists M_x \in \delta_0, \forall n \in N/M_x$

$$d(f_n(x), f(x)) < \varepsilon.$$

Açıktır ki  $(f_n)$  fuzzy sayı değerli fonksiyon dizisinin bir  $f$  fuzzy sayı değerli fonksiyon istatistiksel yakınsak olması için her  $n \in N/M_x$  için  $d(f_n(x), f(x)) < \varepsilon$  olacak şekilde sonlu bir  $M_x \in \delta_0$  kümesinin mevcut olmasıdır, ([31], [34]).

**Teorem 1.1.**  $(f_n)$  ve  $(g_n)$  fuzzy sayı değerli iki fonksiyon dizisi ve  $x \in a, b]$  olsun. Eğer  $f_n(x) \xrightarrow{St_n} f(x)$  ve  $g_n(x) \xrightarrow{St_n} g(x)$  ise o zaman,

$$a) (f_n(x) + g_n(x)) \xrightarrow{St_n} (f(x) + g(x))$$

$$b) cf_n(x) \xrightarrow{St_n} cf(x), c \in \mathbb{R} \text{ dir, [34].}$$

**Teorem 1.2.**  $(f_n)$  fuzzy sayı değerli bir fonksiyon dizisi olsun. Eğer her  $\varepsilon > 0, \exists M \in \delta_0, \forall n \in N/M, \forall x \in a, b]$  için

$$d(f_n(x), f(x)) < \varepsilon$$

ise  $(f_n)$  fuzzy sayı değerli bir fonksiyon dizisi  $[a, b]$  üzerinde bir  $f$  fuzzy sayı değerli fonksiyona düzgün istatistiksel yakınsaktır denir. Bu durumda  $f_n \xrightarrow{uSt} f$  şeklinde yazılır, [34].

**Teorem 1.3.** Bir  $(f_n)$  fuzzy sayı değerli bir fonksiyon dizisinin bir  $f$  fuzzy sayı değerli bir fonksiyona istatistiksel yakınsak olması için gerek ve yeter şart  $\alpha$  ya göre  $(f_n)_\alpha$  nın  $f_\alpha$  ya düzgün istatistiksel olmasıdır, [34].

**Teorem 1.4.**  $(f_n)$  bir fuzzy değerli bir fonksiyon dizisi olsun. O halde aşağıdaki önermeler denktir.

a)  $(f_n), f$ 'e istatistiksel yakınsaktır.

b)  $\forall x \in a, b]$  için  $f_n(x) = g_n(x) + h_n(x), \lim_{n \rightarrow \infty} g_n(x) = f(x)$  ve  $h_n(x) \xrightarrow{St} \bar{0}$  olacak şekilde  $(g_n)$  ve  $(h_n)$  fuzzy sayı değerli fonksiyon dizileri vardır.

c)  $\delta(T) = 1$  ve  $t \rightarrow \infty$  iken  $d(f_{n_t}(x), f(x)) \rightarrow \bar{0}$  olacak şekilde  $N$  in bir  $T = n_t$  alt dizisi mevcuttur, [34].

Sonuç olarak  $f_n \xrightarrow{St_n} f$  ise  $f_n \xrightarrow{St} f$  dir.  $f_n \xrightarrow{uSt} f$  olması için gerek ve yeter şart

$$\sup_{x \in a, b] } d(f_n(x), f(x)) \xrightarrow{St} 0$$

olmasıdır, [34].

## 2. Temel Sonuçlar

Bu bölümde Et v.d. [32] tarafından verilen fuzzy dönüşüm dizilerinden faydalanılarak yapılmıştır.  $\mu$ . dereceden noktasal istatistiksel kavramını bazı özellikleri incelenerek,  $\mu$ . dereceden kuvvetli noktasal yakınsaklık arasındaki ilişkiler incelendi. Bu bölümün ilk kısmında fuzzy dönüşüm dizileri için  $\mu$ . dereceden lacunary noktasal istatistiksel yakınsaklığın tanımı, bazı özellikleri ve kapsama bağıntıları tanımlanmıştır. İkinci kısımda fuzzy dönüşüm dizilerinin  $\mu$ . dereceden Kuvvetli  $p$  -lacunary yakınsaklığın tanımı, bazı özellikleri ve kapsama bağıntıları tanımlanmıştır.

**Tanım 2.1.**  $\Phi = (t_r)$  bir lacunary dizisi,  $I_r = (t_{r-1}, t_r]$  ve  $\mu \in (0,1]$  olsun.  $f = (f_t)$  fuzzy değerli bir fonksiyon dizisi olmak üzere, eğer her  $x \in a, b]$  ve herhangi bir  $\varepsilon > 0$  için,

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r^\mu} |\{t \in I_r: d(f_t(x), f_0(x)) \geq \varepsilon\}| = 0$$

ise  $(f_t)$  fuzzy değerli fonksiyon dizisi  $f$  fuzzy değerli fonksiyonuna  $\mu$ . dereceden lacunary noktasal istatistiksel yakınsaktır. Bu durumda  $S_\Phi^\mu - \lim f_t(x) = f(x)$  şeklinde yazılır.  $\mu$ . dereceden lacunary noktasal istatistiksel yakınsak fonksiyonların kümesi  $S_\Phi^\mu(f)$  ile gösterilecektir.

**Tanım 2.2.**  $\Phi = (t_r)$  bir lacunary dizisi,  $I_r = (t_{r-1}, t_r]$  olsun.  $f = (f_t), g = (g_t)$  birer fuzzy değerli fonksiyon dizileri olmak üzere,  $\mu \in (0,1]$  ve her  $x \in a, b]$  için

$$i) S_\Phi^\mu - \lim f_t(x) = f_0(x) \text{ ve } c \in \mathbb{R} \text{ ise}$$

$$S_\Phi^\mu - \lim cf_t(x) = cf_0(x),$$

$$ii) S_\Phi^\mu - \lim f_t(x) = f_0(x) \text{ ve } S_\Phi^\mu - \lim g_t(x) = g_0(x) \text{ ise}$$

$$S_\Phi^\mu - \lim (f_t(x) + g_t(x)) = f_0(x) + g_0(x)$$

dır.

**İspat:**

i)  $c = 0$  ise aşıkardır.  $0 \neq c \in \mathbb{R}$  ve  $f_t(x) \in S_\Phi^\mu(f)$  olduğunu kabul edelim. (1) ve (2) deki  $d$  metriğinin özellikleri ile her  $x \in a, b]$  ve herhangi bir  $\varepsilon > 0$  için,

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r^\mu} |\{t \in I_r: d(cf_t(x), cf_0(x)) \geq \varepsilon\}|$$

$$\leq \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r^\mu} \left| \left\{ t \in I_n: d(f_t(x), f_0(x)) \geq \frac{\varepsilon}{|c|} \right\} \right|$$

dır. Buradan da  $cf_t(x) \in S_\Phi^\mu(f)$  dir.

ii) Farz edelim ki  $f = (f_t), g = (g_t)$  her  $x \in a, b]$  için birer fuzzy değerli fonksiyon dizileri olsun. Aynı zamanda Minkowski eşitsizliği ve (2) özelliği ile beraber ve herhangi bir  $\varepsilon > 0$  için,



$$\begin{aligned} & d((f_t) + (g_t), f_0(x) + g_0(x)) \\ & \leq d(f_t(x), f_0(x)) + d(g_t(x), g_0(x)) \end{aligned}$$

(3) eşitsizliğinden,

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r^\mu} |\{t \in I_r: d(f_t(x) + g_k(x)), f(x) + g(x)) \geq \varepsilon\}|$$

buradan

$$\begin{aligned} & \leq \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r^\mu} |\{t \in I_n: d(f_t(x), f(x)) \geq \frac{\varepsilon}{2}\}| \\ & \quad + \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r^\mu} |\{t \in I_r: d(g_t(x), g(x)) \geq \frac{\varepsilon}{2}\}| \end{aligned}$$

dır.

**Theorem 2.3.**  $\Phi = (t_r)$  ve  $\Phi^* = (s_r)$ ,  $\forall r \in \mathbb{N}$  için  $I_r \subset J_r$  olacak şekilde iki lacunary dizi olsun.  $f = (f_t)$  fuzzy değerli fonksiyon dizisi,  $\mu \in (0,1]$  ve her  $x \in a, b]$  olsun.  $0 < \mu \leq \eta \leq 1$  için

i) Eğer

$$\liminf_{r \rightarrow \infty} \frac{h_r^\mu}{\ell_r^\eta} > 0 \tag{4}$$

ise  $S_{\Phi^*}^\eta(f) \subseteq S_\Phi^\mu(f)$ ,

ii) Eğer

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{\ell_r}{h_r^\eta} = 1 \tag{5}$$

ise  $S_\Phi^\mu(f) \subseteq S_{\Phi^*}^\eta(f)$  dir.

**İspat:**

i) Farz edelim ki  $\forall r \in \mathbb{N}$  için  $I_r \subset J_r$  ve (4) eşitsizliği sağlansın. Her  $x \in a, b]$  ve herhangi bir  $\varepsilon > 0$  için

$$|\{t \in J_n: d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}| \supseteq |\{t \in I_n: d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}|$$

yazabiliriz. Buradan  $\forall r \in \mathbb{N}$  için  $I_r = (t_{r-1}, t_r], J_r = (s_{r-1}, s_r], h_r = t_r - t_{r-1}$  ve  $\ell_r = s_r - s_{r-1}$  olmak üzere

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\ell_r^\eta} |\{t \in J_r: d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}| \\ & \geq \frac{h_r^\mu}{\ell_r^\eta h_r^\mu} |\{t \in I_r: d(f_t(x), f_0(x)) \geq \varepsilon\}|. \end{aligned}$$

şeklinde olur. Şimdide  $r \rightarrow \infty$  için limit alınır ve (4) eşitsizliği kullanılırsa  $S_{\Phi^*}^\eta(f) \subseteq S_\Phi^\mu(f)$  elde edilir.

ii)  $f = (f_t) \in S_\Phi^\mu(f)$  olsun. (5) eşitliğini sağlansın. Bu durumda  $\forall r \in \mathbb{N}$  için  $I_r \subset J_r$  dir.

Her  $x \in a, b]$ ,  $\forall r \in \mathbb{N}$  ve herhangi bir  $\varepsilon > 0$  için

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\ell_r^\eta} |\{t \in J_n: d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}| \\ & = \frac{1}{\ell_r^\eta} |\{s_{r-1} \leq t \leq t_{r-1}: d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}| \\ & \quad + \frac{1}{\ell_r^\eta} |\{t_r \leq t \leq s_r: d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}| \\ & \quad + \frac{1}{\ell_r^\eta} |\{t_{r-1} \leq t \leq t_r: d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}| \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \leq \frac{t_{r-1} - s_{r-1}}{\ell_r^\eta} + \frac{s_r - t_r}{\ell_r^\eta} + \frac{1}{\ell_r^\eta} |\{t \in I_r: d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}| \\ & = \frac{\ell_r - h_r}{\ell_r^\eta} + \frac{1}{\ell_r^\eta} |\{t \in I_r: d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}| \\ & \leq \frac{\ell_r - h_r^\eta}{h_r^\eta} + \frac{1}{h_r^\eta} |\{t \in I_r: d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}| \\ & \leq \left( \frac{\ell_r}{h_r^\eta} - 1 \right) + \frac{1}{h_r^\eta} |\{t \in I_r: d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}|. \end{aligned}$$

elde edilir. Yukarıdaki eşitsizliğin sağ tarafındaki birinci terim  $r \rightarrow \infty$  için limit alınır (5) eşitliğinden  $\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{\ell_r}{h_r^\eta} = 1$  olduğundan ve ikinci terim  $f = (f_t) \in S_\Phi^\mu(f)$  olduğundan  $S_\Phi^\mu(f) \subseteq S_{\Phi^*}^\eta(f)$  dir. Theorem 2.3 den aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

**Sonuç 2.4.**  $\Phi = (t_r)$  ve  $\Phi^* = (s_r)$ ,  $\forall r \in \mathbb{N}$  için  $I_r = (t_{r-1}, t_r], J_r = (s_{r-1}, s_r]$  ve  $I_r \subseteq J_r$  olacak şekilde iki lacunary dizi olsun.  $f = (f_t)$  fuzzy değerli fonksiyon dizisi ve (4) eşitsizliğini sağlansın. Bu takdirde

- i) Her  $\mu \in (0,1]$  için  $S_{\Phi^*}^\mu(f) \subseteq S_\Phi^\mu(f)$ ,
- ii) Her  $\mu \in (0,1]$  için  $S_{\Phi^*}(f) \subseteq S_\Phi^\mu(f)$ ,
- iii)  $S_{\Phi^*}(f) \subseteq S_\Phi(f)$

dır.

**Sonuç 2.5.**  $\Phi = (t_r)$  ve  $\Phi^* = (s_r)$ ,  $\forall r \in \mathbb{N}$  için  $I_r = (t_{r-1}, t_r], J_r = (s_{r-1}, s_r]$  ve  $I_r \subseteq J_r$  olacak şekilde iki lacunary dizi olsun.  $f = (f_t) \in B(F)$ ,  $\mu \in (0,1]$  ve her  $x \in a, b]$  olsun.  $0 < \mu \leq \eta \leq 1$  ve  $0 < p < \infty$  için

- i) Her  $\mu \in (0,1]$  için  $S_\Phi^\mu(f) \subseteq S_{\Phi^*}^\mu(f)$ ,
- ii) Her  $\mu \in (0,1]$  için  $S_\Phi^\mu(f) \subseteq S_{\Phi^*}(f)$ ,
- iii)  $S_\Phi(f) \subseteq S_{\Phi^*}(f)$

dır.

**Theorem 2.6.**  $\Phi = (t_r)$  ve  $\Phi^* = (s_r)$ ,  $\forall r \in \mathbb{N}$  için  $I_r = (t_{r-1}, t_r], J_r = (s_{r-1}, s_r]$  ve  $I_r \subseteq J_r$  olacak şekilde iki lacunary dizi olsun.  $f = (f_t) \in B(F)$ ,  $\mu \in (0,1]$  ve her  $x \in a, b]$  olsun.  $0 < \mu \leq \eta \leq 1$  ve  $0 < p < \infty$  için

- i) Eğer (4) eşitsizliği sağlanırsa  $N_{\Phi^*,p}^\eta(f) \subset N_{\Phi,p}^\mu(f)$ ,
- ii) Eğer (5) eşitliği sağlanırsa ve  $f = (f_t) \in B(F)$  ise  $N_{\Phi,p}^\mu(f) \subset N_{\Phi^*,p}^\eta(f)$

dır. Burada  $B(F)$ ,  $[a, b]$  kapalı aralığı üzerinde tüm sınırlı fuzzy fonksiyon dizilerinin kümesini gösterebiliriz.

**İspat:**

i)  $\forall r \in \mathbb{N}$  için  $I_r \subseteq J_r$  olsun ve (4) eşitsizliği sağlansın.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\ell_r^\eta} \sum_{t \in J_r, x \in a, b]} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ & \geq \frac{h_r^\mu}{\ell_r^\eta h_r^\mu} \sum_{t \in I_r, x \in a, b] } (d(f_t(x), f(x)))^p \end{aligned}$$

eşitsizliğinden  $\forall r \in \mathbb{N}$  için  $N_{\Phi^*,p}^\eta(f) \subset N_{\Phi,p}^\mu(f)$  kapsamı elde edilir.

ii)  $(f_t) \in N_{\Phi,p}^\mu(f)$  ve (5) eşitliği sağlansın.  $f = (f_t) \in B(F)$  olduğundan  $d(f_t(x), f(x)) \leq M$  olacak şekilde bir  $M > 0$  sayısı vardır. Şimdide  $\forall r \in \mathbb{N}$  için  $I_r \subseteq J_r$  ve  $h_r \leq \ell_r$  olduğundan

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\ell_r^\eta} \sum_{t \in J_r, x \in a, b} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &= \frac{1}{\ell_r^\eta} \sum_{t \in J_n - I_n, x \in a, b} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &+ \frac{1}{\ell_r^\eta} \sum_{t \in I_r, x \in a, b} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &\leq \left(\frac{\ell_r - h_r}{\ell_r^\eta}\right) M^p + \frac{1}{\ell_r^\eta} \sum_{t \in I_r, x \in a, b} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &\leq \left(\frac{\ell_r - h_r^\eta}{h_r^\eta}\right) M^p + \frac{1}{h_r^\eta} \sum_{t \in I_r, x \in a, b} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &\leq \left(\frac{\ell_r}{h_r^\eta} - 1\right) M^p + \frac{1}{h_r^\mu} \sum_{t \in I_r, x \in a, b} (d(f_t(x), f(x)))^p \end{aligned}$$

buradan da  $\forall r \in \mathbb{N}$  için  $N_{\Phi,p}^\mu(f) \subset N_{\Phi^*,p}^\eta(f)$  kapsamaları elde edilir.

Teorem 2.6 dan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

**Sonuç 2.7.**  $\Phi = (t_r)$  ve  $\Phi^* = (s_r), \forall r \in \mathbb{N}$  için  $I_r \subseteq J_r$  olacak şekilde iki lacunary dizi olsun.  $f = (f_t)$  fuzzy değerli fonksiyon dizisi ve (4) eşitsizliğini sağlansın. Bu takdirde

- i) Her  $\mu \in (0,1]$  için  $N_{\Phi^*,p}^\mu(f) \subseteq N_{\Phi,p}^\mu(f)$ ,
- ii) Her  $\mu \in (0,1]$  için  $N_{\Phi^*,p}(f) \subseteq N_{\Phi,p}^\mu(f)$ ,
- iii)  $N_{\Phi^*,p}(f) \subseteq N_{\Phi,p}(f)$

dir.

**Sonuç 2.8.**  $\Phi = (t_r)$  ve  $\Phi^* = (s_r), \forall r \in \mathbb{N}$  için  $I_r \subseteq J_r$  olacak şekilde iki lacunary dizi olsun.  $f = (f_t)$  fuzzy değerli fonksiyon dizisi ve (5) eşitliğini sağlansın. Bu takdirde

- i) Her  $\mu \in (0,1]$  için  $B(F) \cap N_{\Phi,p}^\mu(f) \subseteq N_{\Phi^*,p}^\mu(f)$ ,
- ii) Her  $\mu \in (0,1]$  için  $B(F) \cap N_{\Phi,p}^\mu(f) \subseteq N_{\Phi^*,p}(f)$ ,
- iii)  $B(F) \cap N_{\Phi,p}(f) \subseteq N_{\Phi^*,p}(f)$

dir.

**Teorem 2.9.**  $\Phi = (t_r)$  ve  $\Phi^* = (s_r), \forall r \in \mathbb{N}$  için  $I_r \subseteq J_r$  olacak şekilde iki lacunary dizi olsun.  $f = (f_t) \in B(F), \mu \in (0,1]$  ve her  $x \in a, b$  olsun.  $\mu, \eta \in R$  sayısı olmak üzere  $0 < \mu \leq \eta \leq 1$  ve  $0 < p < \infty$  için

- i) (4) eşitsizliği sağlansın. Eğer bir dizi  $f$  ye kuvvetli  $N_{\Phi^*,p}^\eta(f)$  yakınsak ise bir dizi  $f$  ye  $S_\Phi^\mu(f)$  –istatistiksel yakınsaktır,
- ii) (5) eşitliği sağlansın. Eğer bir dizi  $f = (f_t) \in B(F)$  olsun. Bir dizi  $f$  ye  $S_\Phi^\mu(f)$  –istatistiksel yakınsak ise  $f$  ye kuvvetli  $N_{\Phi^*,p}^\eta(f)$  yakınsaktır.

**İspat:**

i)  $f = (f_t) \in N_{\Phi^*,p}^\eta(f), \forall r \in \mathbb{N}$  için  $I_r \subseteq J_r$  ve  $\varepsilon > 0$  olsun. Bu takdirde

$$\begin{aligned} & \sum_{t \in J_r, x \in a, b} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &= \sum_{t \in J_r, x \in a, b, |f_t - f| \geq \varepsilon} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &+ \sum_{t \in J_r, x \in a, b, |f_t - f| < \varepsilon} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &\geq \sum_{t \in I_r, x \in a, b, |f_t - f| \geq \varepsilon} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &+ \sum_{t \in I_r, x \in a, b, |f_t - f| < \varepsilon} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &\geq \sum_{t \in I_r, x \in a, b, |f_t - f| \geq \varepsilon} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &\geq |\{t \in I_r : d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}| \varepsilon^p \end{aligned}$$

ve böylece

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\ell_r^\eta} \sum_{t \in J_r, x \in a, b} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &\geq \frac{1}{\ell_r^\eta} |\{t \in I_r : d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}| \varepsilon^p \end{aligned}$$

$$\geq \frac{h_r^\mu}{\ell_r^\eta h_r^\mu} |\{t \in I_r : d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}| \varepsilon^p$$

yazabiliriz. (4) eşitsizliği sağlandığı için  $f = (f_t)$  dizisi  $f$  ye kuvvetli  $N_{\Phi^*,p}^\eta(f)$  –toplabilir ise  $f$  ye  $S_\Phi^\mu(f)$  –istatistiksel yakınsaktır.

ii)  $S_\Phi^\mu(f) - \lim f_t(x) = f(x)$  ve  $f = (f_t) \in B(F)$  olsun. Bu takdirde  $d(f_t(x), f(x)) \leq M$  olacak şekilde  $M > 0$  sayısı vardır. Her  $\varepsilon > 0$  için

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\ell_r^\eta} \sum_{t \in J_r, x \in a, b} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &= \frac{1}{\ell_r^\eta} \sum_{t \in J_r - I_r, x \in a, b, |f_t - f| \geq \varepsilon} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &+ \frac{1}{\ell_r^\eta} \sum_{t \in I_r, x \in a, b, |f_t - f| < \varepsilon} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &\leq \left(\frac{\ell_r - h_r}{\ell_r^\eta}\right) M^p + \frac{1}{\ell_r^\eta} \sum_{t \in I_r, x \in a, b, |f_t - f| < \varepsilon} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &\left(\frac{\ell_r - h_r^\eta}{\ell_r^\eta}\right) M^p + \frac{1}{\ell_r^\eta} \sum_{t \in I_r, x \in a, b, |f_t - f| < \varepsilon} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &\leq \left(\frac{\ell_r}{h_r^\eta} - 1\right) M^p + \frac{1}{h_r^\eta} \sum_{t \in I_r, x \in a, b, |f_t - f| \geq \varepsilon} (d(f_t(x), f(x)))^p \\ &+ \frac{1}{h_r^\eta} \sum_{t \in I_r, x \in a, b, |f_t - f| < \varepsilon} (d(f_t(x), f(x)))^p \end{aligned}$$

$$\leq \left(\frac{\ell_r}{h_r^\eta} - 1\right) M^p + \frac{M^p}{h_r^\eta} |\{t \in I_r : d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}| \varepsilon^p + \frac{h_r}{h_r^\eta} \varepsilon^p$$

$$\leq \left(\frac{\ell_r}{h_r^\eta} - 1\right) M^p + \frac{M^p}{h_r^\mu} |\{t \in I_r : d(f_t(x), f(x)) \geq \varepsilon\}| \varepsilon^p + \frac{\ell_r}{h_r^\eta} \varepsilon^p$$

yazabiliriz. (5) eşitliği ile bir dizi  $f$  ye  $S_\Phi^\mu(f)$  –istatistiksel yakınsak ise  $f$  ye kuvvetli  $N_{\Phi^*,p}^\eta(f)$  yakınsaktır.

Teorem 2.9 dan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

**Sonuç 2.10.**  $\Phi = (t_r)$  ve  $\Phi^* = (s_r), \forall r \in \mathbb{N}$  için  $I_r \subseteq J_r$  olacak şekilde iki lacunary dizi olsun.  $f = (f_t)$  fuzzy değerli fonksiyon dizisi ve (4) eşitsizliğini sağlansın. Bu taktirde her  $\mu \in (0,1]$  için,

i)  $N_{\Phi^*,p}^\mu(f) \subseteq S_\Phi^\mu(f)$ ,

ii)  $N_{\Phi^*,p}(f) \subseteq S_\Phi^\mu(f)$ ,

iii)  $N_{\Phi,p}(f) \subseteq S_\Phi(f)$

dir.

**Sonuç 2.11.**  $\Phi = (t_r)$  ve  $\Phi^* = (s_r), \forall r \in \mathbb{N}$  için  $I_r \subseteq J_r$  olacak şekilde iki lacunary dizi olsun.  $f = (f_t)$  fuzzy değerli fonksiyon dizisi ve (5) eşitliğini sağlansın. Bu taktirde her  $\mu \in (0,1]$  için,

i)  $B(F) \cap S_\Phi^\mu(f) \subseteq N_{\Phi^*,p}^\mu(f)$ ,

ii)  $B(F) \cap S_\Phi^\mu(f) \subseteq N_{\Phi^*,p}(f)$ ,

iii)  $B(F) \cap S_\Phi(f) \subseteq N_{\Phi^*,p}(f)$

dir.

### 3. Sonuçlar

Bu çalışmada, literatürde bilinen fuzzy fonksiyon dizilerinin tanımı ve dizilerin noktasal yakınsaklığı kavramı kullanılarak, fuzzy fonksiyon dizilerinin  $\mu$  dereceden  $p$  –lacunary istatistiksel yakınsaklık kavramı tanımlanarak bazı sonuçlar elde edilmiştir. Aynı zamanda fuzzy fonksiyon dizilerinin  $\mu$  dereceden kuvvetli  $p$  –lacunary istatistiksel yakınsaklık ile fuzzy fonksiyon dizilerinin  $\mu$ . dereceden lacunary istatistiksel yakınsaklık kavramları tanımlanarak  $S_\Phi^\mu(f), N_\Phi^\mu(f)$  ve  $N_{\Phi,p}^\mu(f)$  uzayları arasında bazı kapsama bağıntıları ile ilgili sonuçlar elde edilerek bunlar arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

### Kaynakça

[1] Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets, Inform and Control, 8, ss. 338-353.  
 [2] Matloka, M. (1986) .Sequences of fuzzy numbers, Busefal, 28, ss. 28-37.  
 [3] Nanda, S. (1989). On sequence of fuzzy numbers, Fuzzy Sets and Systems,33, ss. 123-126.  
 [4] Nuray, F. and Savaş, E. (1995). Statistical convergence of fuzzy numbers, Mathematica Slovaca, 45 (3), ss. 269-273.  
 [5] Subrahmanyam, P.V. (1999). Cesàro summability for fuzzy real numbers, The Journal of Analysis, 7, ss. 159-168.  
 [6] Kwon, J.S. (2000). On statistical and Cesàro convergence of fuzzy numbers, Korean Journal of Computational.&Applied Mathematics, 7 (1), ss. 195-203.

[7] Aytar S.and Pehlivan, S. (2007) Statistical cluster and extreme limit points of sequences of fuzzy numbers, Information Sciences, 177, 3290--3296.  
 [8] Altin, Y., Et, M.and Çolak, R. (2006). Lacunary statistical and lacunary strongly convergence of generalized difference sequences of fuzzy numbers, Computers & Mathematics with Applications, 52 (6-7), ss1011-1020.  
 [9] Karakaş, A., Altin, Y. and Altinok, H. (2014). On generalized statistical convergence of order  $\beta$ -of sequences of fuzzy numbers, Journa of Intelligent &. Fuzzy Systems, 26 (4), ss. 1909-1917.  
 [10] Zygmund, A. (1968). Trigonometric series: Vols. I, II. Cambridge University Press, London-New York.  
 [11] Steinhaus, H. (1951). Surla convergence ordinarie et la convergence asymptotique, Colloquium Mathematicum, 2, ss. 73-74.  
 [12] Fast, H. (1951). Sur la convergence statistique, Colloquium Mathematicum, 2, ss. 241-244.  
 [13] Fridy, J.A. (1985). On the statistical convergence, Analysis, 5, ss. 301-313.  
 [14] Šalát, T. (1980). On statistically convergent sequences of real numbers. Mathematica Slovaca, 30 (2), ss. 139-150.  
 [15] Connor, J.S (1988). The statistical and strong  $p$ -Cesàro convergence of sequences, Analysis, 8 (1-2), ss. 47-63.  
 [16] Tripathy, B.C. and Sen, M. (2001). On generalized statistically convergent sequences, Indian Journal of Pure Applied Mathematics, 32 (11), ss.1689-1694.  
 [17] Gadjiev, A. D. and Orhan, C.(2002). Some approximation theorems via statistical convergence, Rocky Mountain Journal of Mathematics, 32 (1), ss. 129-138.  
 [18] Çolak, R. (2010). Statistical convergence of order  $\alpha$ , Modern Methods in Analysis and Its Applications, Anamaya Pub., New Delhi, India, ss. 121-138.  
 [19] Freedman, A.R., Sember, J.J. and Raphael, M. (1978). "Some Cesaro-type summability spaces", Proc. Lond. Math. Soc., 37, 508-520.  
 [20] Fridy, J. A. and Orhan, C. (1993). Lacunary Statistical Convergence, Pacific J. Math. 160 (1) 43-51.  
 [21] Duman, O. and Orhan, C. (2004).  $\mu$ -statistically convergent function sequences, Czechoslovak Mathematical Journal. 54 (129) no. 2, ss. 413-422.  
 [22] Gökhan, A. and Güngör, M. (2002). On pointwise statistical convergence, Indian Journal of Pure Applied Mathematics, 33 (9), ss. 1379-1384.  
 [23] Çinar, M.; Karakaş, M., Et, M. (2013). On pointwise and uniform statistical convergence of order  $\alpha$  for sequences of functions, Fixed Point Theory and Application, 33, 11 pp.  
 [24] Nuray, F., (1998). Lacunary statistical convergence of sequences of Fuzzy numbers, Fuzzy Sets Syst., 99 353-355.  
 [25] Şengül, H. and Et, M. (2014). On lacunary statistical convergence of order  $\alpha$ , Acta Math. Sci. Ser. B Engl. Ed. 34 (2), 473-482.  
 [26] Bhardwaj, V. K. and Dhawan, S. (2016). Density by moduli and lacunary statistical convergence, Abstr. Appl. Anal., Art. ID 9365037, 11 pp.  
 [27] Das, G., and Mishra, S.K. (1983). Banach limits and lacunary strong almost convergence, J.Orissa Math. Soc.2, 61-70.  
 [28] Puri, M. L. and Ralescu, D.A. (1986). Fuzzy random variables, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 114, ss. 409-422.

- [29] Mursaleen, M. and Başarır, M. (2003). On some new sequence spaces of fuzzy numbers, *Indian Journal of Pure and Applied Mathematics*, 34 (9), ss.1351-1357.
- [30] Matloka, M. (1987). Fuzzy mappings- sequences and series, *Busefal*, 30, ss.18-25.
- [31] Altin, Y. Et, M. ve Tripathy, B. C. (2007). On pointwise statistical convergence of sequences of fuzzy mappings, *Journal Fuzzy Mathematics*, 15 (2), ss. 425-433.
- [32] Et, M., Tripathy, B.C. ve Dutta, A.J. (2014). On pointwise statistical convergence of order  $\alpha$ -of sequences of fuzzy mappings, *Kuwait Journal of Science*, 41 (3), ss. 17-30.
- [33] Et, M. (2014). On pointwise  $\lambda$ -statistical convergence of order  $\alpha$ -of sequences of fuzzy mappings, *Filomat*, 28 (6), ss.1271-1279.
- [34] Gong, Z., Zhang, L.ve Zhu, X. (2015). The statistical convergence for sequences of fuzzy-number-valued functions, *Information Sciences*, 295, ss. 182-195.
- [35] Srivastava, P.D. ve Ojha, S. (2014).  $\lambda$ -Statistical convergence of fuzzy numbers and fuzzy functions of order  $\theta$ , *Soft Computing*, 18,ss. 1027-1032.
- [36] Hung, N. V., Tam, V. M., Tuan, N. H.and O'Regan, D. (2020). Convergence analysis of solution sets for fuzzy optimization problems, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 369, 112615, 11 pp.
- [37] Hazarika, B. (2017). Pointwise ideal convergence and Uniformly ideal convergence of sequence of fuzzy valued functions, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 32 (3), ss. 2665-2677.





# Hibiskus (*Hibiscus sabdariffa* L.) Ekstraktı Tozu ile Soğuk Çay Üretimi: Antioksidan Aktivite ve Duyusal Özellikler

Abdullah Naji<sup>1\*</sup>, Serap Berktaş<sup>2</sup>, Mustafa Çam<sup>3</sup>

1\* Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8189-7563), nabdullahmohammed@gmail.com

2 Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5195-0685), bertkaserap@gmail.com

3 Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1258-0834), mcam@erciyes.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 6 Eylül 2021 ve Kabul Tarihi 27 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.991763)

**ATIF/REFERENCE:** Naji, Abdullah., Berktaş, Serap. & Çam, Mustafa (2021). Hibiskus (*Hibiscus sabdariffa* L.) Ekstraktı Tozu ile Soğuk Çay Üretimi: Antioksidan Aktivite ve Duyusal Özellikler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 831-836.

## Öz

Hibiskus genellikle bitki çayı olarak tüketilen önemli biyolojik aktivitelere sahip bir bitkidir. Bu çalışmada, hibiskus ekstraktının püskürtmeli kurutucuda toz forma dönüştürülerek soğuk çay formülasyonlarında kullanılması ve üretilen soğuk çayların bazı fizikokimyasal ve duyusal özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Hibiskus bitkisi yapraklarından çalkalamalı su banyosu ile ekstrakt elde edilerek püskürtmeli kurutucuda maltodekstrin kullanılarak toz forma dönüştürülmüştür. Elde edilen toz forma dönüştürülmüş hibiskus ekstraktı tozu (f) soğuk çay formülasyonları oluşturulmasında girdi olarak kullanılmıştır. Üretilen soğuk çayların renk, toplam asitlik, toplam fenolik madde, toplam flavonoid madde, antioksidan aktivite ve duyusal analizleri gerçekleştirilmiştir. Hibiskus soğuk çaylarının toplam fenolik madde miktarı 194,4-444,4 mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/L olarak belirlenmiştir. Antioksidan kapasite iki farklı radikal ile belirlenmiş ve sonuçlar troloks eşdeğeri (TE) olarak verilmiştir. Bu değerler DPPH için 323,1-505,0 mg TE/L aralığında iken, ABTS için 303,2-665,6 mg TE/L olarak belirlenmiştir. Toplam flavonoid madde miktarları da 399,4-844,8 mg kateşin eşdeğeri (KE)/L bulunmuştur. Soğuk çay formülasyonları içerisinde kullanılan HET' nin %0,25-0,50 ve sitrik asitin %0,15-0,25 düzeylerinde kullanılmasının duyusal analiz sonuçlarında (renk, tat, aroma, bulanıklık ve genel beğeni) anlamlı bir farklılık oluşturmadığı belirlenmiştir (p>0,05).

**Anahtar Kelimeler:** *Hibiscus sabdariffa* L., soğuk çay, antioksidan, püskürtmeli kurutucu.

## Production of Iced Tea from Hibiscus (*Hibiscus sabdariffa* L.) Extract Powder: Antioxidant Activity and Sensory Properties

### Abstract

Hibiscus is a plant with important biological activities that are often consumed as herbal tea. In this study, it was aimed to microencapsulate hibiscus extract by a spray dryer, and to use the resulting microcapsules in iced tea formulations and to investigate some physicochemical and sensory properties of produced iced teas. The extract was obtained from the leaves of the hibiscus plant with a shaking water bath and microencapsulated using maltodextrin in a spray dryer. The obtained microencapsulated hibiscus extract powder (HET) was used as an input for the formation of iced tea formulations. Color, total acidity, total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant capacity and sensory analyses of the produced iced teas were performed. The total phenolic content of hibiscus iced teas was determined as 194,4-444,4 mg gallic acid equivalent (GAE)/L. The antioxidant capacity was determined by two different radicals and the results were given as Trolox equivalents (TE). While these values were in the range of 323,1-505,0 mg TE/L for DPPH, it was determined as 303,2-665,6 mg TE/L for ABTS. Total flavonoid content was found to be 399,4-844,8 mg catechin equivalent (KE)/L. It was determined that the use of HET at 0,25-0,50% and citric acid at 0,15-0,25% levels used in iced tea formulations did not cause a significant difference in sensory analysis results (color, taste, aroma, turbidity and general acceptance) (p>0,05).

**Keywords:** *Hibiscus sabdariffa* L., iced tea, antioxidant, spray drying.

## 1. Giriş

Hibiskus (*Hibiscus sabdariffa* L.) Malvaceae familyasındaki Hibiscus cinsine ait tek yıllık bir bitkidir. Afrika'ya özgü olan bu bitki, Amerika ve Güney Asya gibi tropikal ve subtropikal bölgelerde de yetiştirilmektedir (Moser ve ark., 2021). Hibiskus 300' den fazla türü olan ve çiçeklerinin renginden sorumlu olan antosiyaninler başta olmak üzere içerdiği fenolik bileşikler nedeniyle biyolojik öneme sahip bir bitkidir (Maciel ve ark., 2018). İçerdiği antosiyaninlerden özellikle delphinidin-3-sambubioside ve siyanidin-3-sambubioside'in, hipertansiyon, iltihaplanma, karaciğer bozuklukları, diyabet ve metabolik sendroma karşı farmakolojik özelliklerinin olduğu tespit edilmiştir (Guardiola ve Mach, 2014).

Tüketicilerin beslenme alışkanlıklarının sağlıkları üzerinde önemli etkiler oluşturduğunun giderek farkına varmaları ile sağlığı koruyabilecek ürünlere olan talepleri de artmıştır. Çaylar ve bitkisel ürünler diyetimizde bulunan önemli biyoaktif bileşiklerin kaynaklarıdır. Çay, dünyanın birçok ülkesinde yaygın olarak tüketilen içecekler arasındadır. Çeşitli bitkilerden elde edilen çayların tüketimi, daha sağlıklı yaşam isteği ve münferit hastalıkların tedavisinde kullanılacak ilaç ihtiyacını azaltma ile de ilişkilidir. Bitkilere ait farklı fraksiyonların kaynatılması veya infüzyonu yoluyla bitkisel çayların hazırlanması geleneksel tıpta halen başvurulan yöntemlerdendir (Moser ve ark., 2021).

Bu amaçla yaygın olarak kullanılan bitkilerden biri olan hibiskustan elde edilen çayın özellikle hipertansiyon ve hiperlipidemi tedavisinde kullanıldığı bildirilmektedir (Hopkins ve ark., 2013). Hibiskusun bu kullanım şekillerine ilave olarak kaliks kısımlarının işlenmesiyle reçel ve marmelat üretildiği ayrıca bitki çayı olarak tüketiminin yaygın olduğu rapor edilmiştir (Andzi Barhé ve Feuya Tchouya, 2016). Temel olarak benzer şekillerde üretilen hibiskus çayları direk tüketimine ilaveten jöleler, tatlılar, sıcak çay ve soğuk içecekler gibi çeşitli ürünlerin formülasyonlarına da girdiği görülmektedir (Nguyen ve Chuyen, 2020).

Soğuk çay yaygın olarak *Camellia sinensis* bitkisinden üretilmektedir ve alternatif olarak farklı bitkisel maddelerden üretilen soğuk çayların ürün çeşitliliği sınırlıdır. Hibiskus ekstraktları kullanılarak üretilen çeşitli ürünler literatürde rapor edilmişse de hibiskus ekstraktları kullanılarak soğuk çay üretimi ve karakterizasyonu üzerine daha önce yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı HET kullanarak hibiskus soğuk çayı üretmek ve elde edilen soğuk çayların bazı fizikokimyasal ve duyuşsal özelliklerinin belirlenmesidir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal ve Kimyasallar

Bu çalışmada hibiskus bitkisi kurutulmuş formda yerel bir aktardan satın alınmıştır. Çalışmada kullanılan tüm kimyasallar ve standartlar Sigma-Aldrich ve Merck firmalarından temin edilmiştir.

### 2.2. Hibiskus ekstraktlarının elde edilmesi ve ekstraktların püskürtmeli kurutulması

Hibiskus ekstraktlarının elde edilmesinde çalkalamalı su banyosu yöntemi kullanılmıştır. 5 gram öğütülmüş hibiskus bitkisi 100 mL safsu ile 54°C'de 120 dakika boyunca 150 rpm de çalkalamalı su banyosunda ekstrakte edilmiştir. Buradan elde edilen ekstraktlar maltodekstrin yardımıyla püskürtmeli kurutma yöntemi ile toz forma dönüştürülmüştür (Naji, 2018). Elde edilen toz formdaki mikrokapsüller soğuk çay formülasyonlarında kullanılabileceği kadar 4 °C'de ışısız ortamda muhafaza edilmiştir.

### 2.3. Hibiskus soğuk çaylarının formülasyonu

Hibiskus soğuk çaylarının formüle edilmesinde yapılan ön denemelerden sonra elde edilen duyuşsal sonuçlara göre Tablo 1' de verilen oranlara karar verilmiştir. Buna göre formülasyonda yer alan miktarlarda olacak şekilde sakaroz, sitrik asit ve HET ile soğuk çay içerikleri hazırlanmıştır. Daha sonra bu formülasyonlara göre hazırlanan dört farklı hibiskus soğuk çayı 250 mL' lik önceden sterilize edilmiş cam şişelere doldurulup 80 °C'de 10 dakika süre ile pastörize edilmiştir. Ardından hibiskus soğuk çayları analizler gerçekleştirilene kadar 4 °C'de depolanmıştır.

Tablo 1. Hibiskus soğuk çaylarının formülasyonu

Örnekler	Bileşenler (g)		
	Sakaroz	Sitrik asit	HET
H <sub>1</sub>	7	0,15	0,25
H <sub>2</sub>	7	0,15	0,50
H <sub>3</sub>	7	0,25	0,25
H <sub>4</sub>	7	0,25	0,50

Tabloda verilen değerler 100 mL soğuk çaydaki miktarları ifade etmektedir.

### 2.4. Renk, suda çözünür kuru madde, bulanıklık, pH ve titrasyon asitliği analizleri

Hibiskus soğuk çaylarının L\*, a\* ve b\* renk değeri ölçümleri kolorimetre cihazı (Konica Minolta, CR-5, Japonya) ile gerçekleştirilmiştir. Renk tayini yapılmadan önce cihazın siyah beyaz kalibrasyonu yapılmış ve 20 mL örnek ölçüm hücreğine aktarılacak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Suda çözünür kuru madde (°Briks) miktarını ölçmek için Abbe refraktometresinden (PAL-3, Tokyo, Japonya) faydalanılmıştır. Toplam kuru madde miktarının belirlenmesi için ise 20 mL örnek alınıp 70 °C'de 24 saat etüvde (GEMO, DT104, Türkiye) kurumaya bırakılmıştır. Sonuçlar % (m/m) olarak hesaplanmıştır. Bulanıklık türbidometre (Hach, ABD) cihazı kullanılarak ölçülüp sonuçlar Nefelometrik Bulanıklık Birimi (NTU) olarak ifade edilmiştir. Örneklerin pH değerleri bir pH metre (HANNA, ABD) cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Titrasyon asitliği ise 0.1 N sodyum hidroksit ile titrimetrik olarak pH değerinin 8.1 olduğu değerde sarfiyatlar belirlenerek sonuçlar sitrik asitlik cinsinden hesaplanmıştır (Cemeroğlu, 2013).

## 2.5. Toplam fenolik madde miktarı

Hibiskus soğuk çaylarının toplam fenolik madde miktarı Folin&Ciocalteu reaktifi kullanılarak belirlenmiştir (Singleton ve Rossi, 1965). Örneklerden 0,4 mL deney tüpüne alınmış üzerine 2 mL Folin reaktifi (1/10, v/v, suda) ve 1,6 mL sodyum karbonat çözeltisi (%7,5, w/v) eklenerek vorteks (VWR, Almanya) ile karıştırılmıştır. Elde edilen örnek oda sıcaklığında karanlıkta 1 saat süre ile inkübe edilmiştir. Ardından spektrofotometre cihazı (UV-1800 Shimadzu, Japonya) ile 765 nm dalga boyunda örneklerin absorbansları ölçülmüştür. Kör çözelti olarak örnek yerine 0,4 mL saf su kullanılmıştır. Sonuçlar, gallik asit standartları ile elde edilen kalibrasyon grafiğinden hesaplanarak gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak ifade edilmiştir.

## 2.6. DPPH ile antioksidan kapasite

Hibiskus soğuk çaylarının antioksidan kapasitesi Brand-Williams ve ark., (1995) metoduna göre 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radikali kullanılarak belirlenmiştir. Bunun için, 6,25 mg tartılan DPPH radikali 250 mL' ye metanol mL' ye metanol ile tamamlanmıştır. Elde edilen radikal çözeltisinden 3,9 mL alınarak 0,1 mL örnek ile karıştırılmış ve 30 dakika oda sıcaklığında karanlıkta inkübe edilmiştir. Kalibrasyon grafiklerinin oluşturulması amacıyla aynı işlem troloks çözeltileri (40-200 mg/L) ile tekrarlanmıştır. Kontrol örneği için ise örnek yerine 0,1 mL metanol kullanılmıştır. Daha sonra absorbanslar 515 nm dalga boyunda metanole karşı spektrofotometrede okunmuş ve sonuçlar troloks eşdeğeri (TE) cinsinden ifade edilmiştir.

## 2.7. ABTS ile antioksidan kapasite

Hibiskus soğuk çaylarının troloks eşdeğeri antioksidan kapasitesinin belirlenmesi için ABTS (2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) yöntemi kullanılmıştır (Re ve ark., 1999; Bülent ve ark., 2020). ABTS radikal çözeltisinin hazırlanması için 5 mL potasyum persülfat çözeltisi (12,25 mM) 0,192 g tartılmış olan ABTS radikali üzerine eklenerek 25 mL' ye saf su ile tamamlanmıştır. Hazırlanan radikal çözelti 16 saat boyunca oda sıcaklığında karanlıkta bekletilmiştir. Ardından radikal stok çözeltisi, 734 nm' de 0,700 ( $\pm$  0,02) absorbans değerine ulaşana kadar tuzlu fosfat tamponu (pH 7,4) ile seyreltilmiştir. Örneklerden 20  $\mu$ l alınarak üzerine 2 mL seyreltilmiş olan radikal çözeltisinden eklenerek 6 dakika oda sıcaklığında karanlıkta inkübe edilmiştir. Kalibrasyon grafiklerinin oluşturulması amacıyla aynı işlem troloks çözeltileri (0,2-1mmol) ile tekrarlanmıştır. Kontrol örneği için ise 20  $\mu$ l saf su kullanılmıştır. Örneklerin absorbansları 734 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçülmüştür. Sonuçlar, kalibrasyon grafiği yardımı ile troloks eşdeğeri (TE) olarak ifade edilmiştir.

## 2.8. Toplam flavonoid madde miktarı

Örneklerin toplam flavonoid madde miktarları Zhishen ve ark., (1999) yöntemine göre belirlenmiştir. Soğuk çay örneklerinden 1 mL alınıp üzerine 4 mL saf su ve 0,3 mL NaNO<sub>2</sub> çözeltisi (%5, w/v) ilave edilmiştir. 5 dakika inkübasyondan sonra 0,3 mL AlCl<sub>3</sub> çözeltisi (%10, w/v) eklenmiş ve 1 dakika sonra da 2 mL NaOH çözeltisi (1 N) eklenmiştir. Son hacim 2,4 ml saf su ile 10 mL' ye tamamlanmıştır. Kalibrasyon grafiklerinin oluşturulması amacıyla aynı işlem kateşin çözeltileri (10-120 mg/L) ile tekrarlanmıştır. Kör çözelti için ise örnek yerine 1 mL saf su kullanılmıştır. Hazırlanan örneklerinin absorbansları kör çözeltiliye

karşı 510 nm dalga boyunda spektrofotometrede okunmuştur. Sonuçlar kalibrasyon grafiği yardımıyla kateşin eşdeğeri (KE) cinsinden ifade edilmiştir.

## 2.9. Hibiskus soğuk çaylarının duyu analizi

Soğuk çaylar hazırladıktan sonra örneklerin duyu analizi 20-45 yaşları arasında olan 14 eğitimli panelist tarafından gerçekleştirilmiştir. Örneklerin duyu değerlendirmeleri 5 puanlı hedonik skala formu kullanılarak (1-hiç beğenmedim, 5-çok beğendim) renk, aroma, tat, bulanıklık ve genel beğeni özellikleri açısından değerlendirilmiştir (Alaşalvar ve Çam, 2020).

## 2.10. İstatistiksel analiz

İki tekrarlı olarak yapılan soğuk çay üretimlerinden elde edilen analiz sonuçlarının karşılaştırmaları varyans analizini (ANOVA) takiben Tukey çoklu karşılaştırmaları testi kullanılarak SPSS 22 paket programı (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) ile gerçekleştirilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

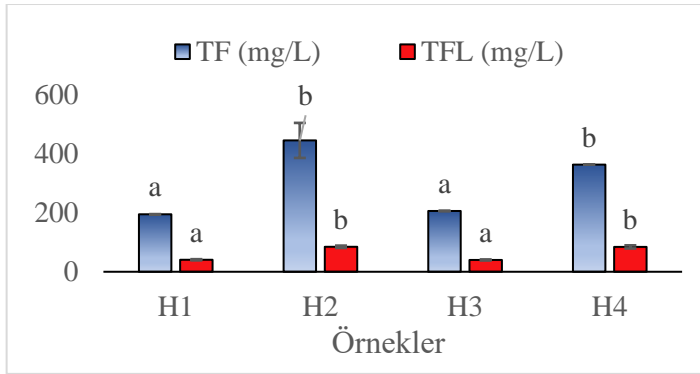
### 3.1. Hibiskus soğuk çaylarının fizikokimyasal özellikleri

HET ile üretilen soğuk çayların renk, briks, pH, bulanıklık, kuru madde ve titrasyon asitliği değerleri Tablo 2' de verilmiştir. Örneklerin L\*, bulanıklık, pH ve kuru madde değerleri açısından aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (p>0,05). Titrasyon asitliği ve b\* değeri açısından en yüksek sonuçlara H<sub>4</sub> kodlu örnekte ulaşılrken, en yüksek suda çözünür kuru madde değerleri H<sub>2</sub> ve H<sub>4</sub> kodlu örneklerde görülmüştür. Bu durum formülasyonlarda diğerlerine göre daha fazla kullanılan HET miktarı ile bağlantılı görünmektedir. Soğuk çay örneklerine eklenen sitrik asit miktarının artmasına bağlı olarak asitliğin arttığı, ancak pH değerinin sabit kaldığı görülmüştür (2,86-3,02). Bu durum örneklerin tamponlama kapasitesi ile açıklanabilir. Örneklerde belirlenen bu düşük pH değerleri soğuk çay örneklerinin daha düşük sıcaklıkta ve daha kısa sürede pastörize edilmesine katkı sağlamaktadır (Karataşoğlu vd., 2021). Enginar, limon ve yeşil çayın farklı kombinasyonları ile üretilmiş soğuk çayların asitlik değerleri 1.16-1.24 olarak, Briks değerleri 5,60-7,55 olarak bildirilmiştir (Özünü ve Ergezer, 2019). Adaçayı ve ıhlamur soğuk çaylarının pH değerleri sırasıyla 3,45 ve 3,05 olarak, L\* değerleri ise sırasıyla 25,16 ve 23,70 olarak rapor edilmiştir (Alaşalvar ve Çam, 2019). Hibiskus soğuk çaylarının bileşiminde bulunan maddelerin miktarlarının değişmesi yukarıda belirtildiği gibi suda çözünür kuru madde ve titrasyon asitliğinde değişime neden olurken, bulanıklık değerlerinde anlamlı bir değişime neden olmamıştır. Hibiskus soğuk çaylarının bulanıklık değerleri 5,27-7,76 NTU arasında olduğu ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Mikroenkapsüle nane ekstraktı tozlarının soğuk çay üretiminde kullanıldığı bir çalışmada ise örneklerin bulanıklık değerleri 204 NTU olarak belirlenmiştir (Alaşalvar ve Çam, 2020). Kombu çaylarının pH değerleri 3,18-3,19, toplam asitlik değerleri ise %0,74-1,43 olarak rapor edilmiştir (Giritlioğlu vd., 2020). Hibiskus soğuk çaylarının a\* değerleri 0,79-1,00 arasında tespit edilmiştir (p<0,05). Soğuk çaylar içerisindeki HET ve asitlik miktarı arttıkça kırmızılığın bir ölçüsü olan a\* değerinin arttığı belirlenmiştir. Tıbbi ve aromatik nane türlerinden soğuk çayların

üretildiği bir çalışmada ise çayların a\* değerlerinin -0,85 ile 4,28 aralığında değişim gösterdiği belirtilmiştir (Alaşalvar & Çam, 2020).

### 3.2. Hibiskus soğuk çaylarının fenolik, flavonoid madde ve antioksidan kapasite değerleri

Püskürtmeli kurutucuda maltodekstrin ile kaplanarak elde edilen HET ile üretilen soğuk çayların, toplam fenolik ve toplam flavonoid madde miktarları ile antioksidan kapasite değerleri Şekil 1 ve 2' de verilmiştir. Hibiskus soğuk çaylarının toplam fenolik madde miktarları 194,4-444,4 mg GAE/L arasında değişmektedir. Soğuk çaylarda kullanılan HET miktarı ile toplam fenolik ve toplam flavonoid madde miktarlarının paralellik gösterdiği ve HET miktarı arttıkça değerlerin anlamlı şekilde arttığı (p<0,05) belirlenmiştir. İki farklı nane türünden elde edilen ekstraktlar ile üretilen soğuk çayların toplam fenolik madde miktarı 274-370 mg GAE/L olarak rapor edilirken (Alaşalvar ve Çam, 2020), rooibos ile üretilen soğuk çayların toplam fenolik madde içerikleri 338-509 mg GAE/L olarak rapor edilmiştir (Viljoen vd., 2017). Özünü ve Ergezer (2019), enginar yaprakları ile ürettikleri soğuk çayların toplam fenolik madde içeriklerini 2808-2962 mg GAE/L olarak belirlemişlerdir. Bu durumun araştırmacıların soğuk çay hazırlarken kullandıkları ekstraktların cinsi ve miktarlarının fazla olması ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Akarca ve Tomar, (2018) ise kombucha çaylarının toplam fenolik madde içeriklerini 7.8 mM (1326 mg GAE/L) olarak tespit etmişlerdir. Akarca ve Tomar, (2018) ve Özünü ve Ergezer (2019) tarafından yapılan çalışmalarda toplam fenolik madde miktarının yüksek olmasının nedeni soğuk çay formülasyonlarında kullanılan ekstraktların miktarının daha yüksek olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Araştırmacılar kuru madde temelli ekstrakt miktarı vermedikleri için materyal bazlı anlamlı karşılaştırma yapılamamıştır

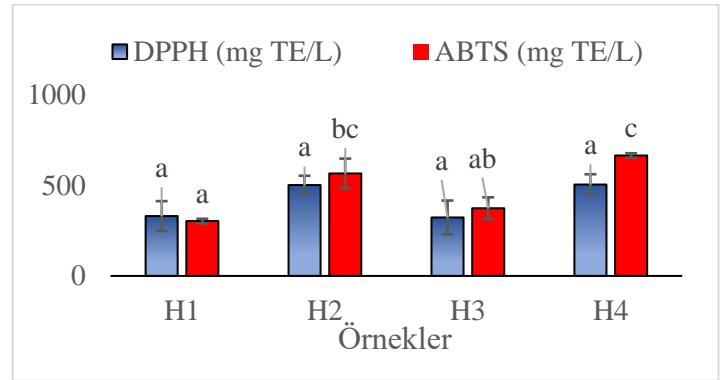


Şekil 1. Hibiskus soğuk çaylarının toplam fenolik (TF) ve toplam flavonoid (TFL) madde içerikleri

Şekil üzerinde verilen değerler 2 tekrarlı verilerin ortalama değerlerini, hata barları ise standart sapma değerlerini ifade etmektedir. Aynı barlar üzerindeki farklı harfler ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (p<0.05) göstermektedir.

HET ile üretilen soğuk çayların DPPH ve ABTS yöntemleri ile elde edilen antioksidan kapasite değerleri sırasıyla 323-505 mg TE/L ve 303-666 mg TE/L arasında değişim göstermiştir. DPPH ile yapılan antioksidan kapasite analizinde her ne kadar örnekler arasında HET miktarı farkı var ise de bu farkların antioksidan kapasiteye (DPPH) yansımadağı görülmektedir (p>0,05). Bunun

aksine ABTS ile yapılan antioksidan kapasite analizinde örnekler içerisindeki HET miktarı farkının antioksidan kapasiteye yansıdığı ve örnekler arasında anlamlı farklar olduğu belirlenmiştir (p<0,05). Bu durum ABTS radikalinin HET içerisindeki bileşenlere daha belirgin tepki verdiğinin işareti olarak görülebilir. 4 farklı formülasyonda üretilen soğuk çaylar arasında en yüksek antioksidan kapasiteyi (ABTS) H<sub>4</sub> kodlu örnek göstermiştir. ABTS testinin örnekler içerisindeki ekstrakt miktarını yansıtmasına ilaveten sitrik asit miktarındaki farklılıklara dahi duyarlı olduğu görülmektedir. Moser ve ark., (2021) hibiskusun sıcak ve soğuk infüzyonlarının toplam fenolik madde değerlerini 3,74-4,55 mg GAE/g olarak, DPPH ve ABTS değerlerini ise 196-219 µM TE/g ve 45,10-85,68 µM TE/g olarak belirlemişlerdir. Nane ekstraktlı soğuk çayların antioksidan kapasiteleri (DPPH ile EC<sub>50</sub> eş değeri olarak) 389-481 mg/g DPPH olarak rapor edilmiştir (Alaşalvar ve Çam, 2020).



Şekil 2. Hibiskus soğuk çaylarının antioksidan kapasite değerleri

Şekil üzerinde verilen değerler 2 tekrarlı verilerin ortalama değerlerini, hata barları ise standart sapma değerlerini ifade etmektedir. Aynı barlar üzerindeki farklı harfler ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (p<0.05) göstermektedir

Aynı çalışmada nane soğuk çaylarının antioksidan kapasitesi (ABTS) 615-809 mg TE/L olarak rapor edilmiştir. Bu çalışma bizim çalışmamızla paralellik göstermekte olup kullanılan ekstraktların cinsi farklı olsa da (nane ve hibiskus) benzer antioksidan kapasite sonuçlarına ulaşılmıştır.



Tablo 2. Hibiskus soğuk çaylarına ait bazı fizikokimyasal özellikler

Örnekler	L*	a*	b*	Briks (%)	pH	Titrasyon asitliği (% sitrik asit)	Bulanıklık (NTU)	Kuru madde (%)
H <sub>1</sub>	24,04±1,92 <sup>a</sup>	0,79±0,00 <sup>a</sup>	1,02±0,16 <sup>a</sup>	7,6±0,00 <sup>a</sup>	3,00±0,09 <sup>a</sup>	0,20±0,01 <sup>a</sup>	5,83±0,66 <sup>a</sup>	7,50±0,02 <sup>a</sup>
H <sub>2</sub>	22,00±0,06 <sup>a</sup>	0,95±0,00 <sup>b</sup>	1,22±0,02 <sup>ab</sup>	7,8±0,00 <sup>b</sup>	3,02±0,04 <sup>a</sup>	0,27±0,01 <sup>b</sup>	7,12±0,80 <sup>a</sup>	7,73±0,16 <sup>a</sup>
H <sub>3</sub>	21,38±0,00 <sup>a</sup>	1,00±0,04 <sup>b</sup>	1,56±0,04 <sup>bc</sup>	7,65±0,07 <sup>a</sup>	2,86±0,01 <sup>a</sup>	0,31±0,00 <sup>c</sup>	5,27±0,85 <sup>a</sup>	7,69±0,09 <sup>a</sup>
H <sub>4</sub>	22,19±1,39 <sup>a</sup>	0,96±0,01 <sup>b</sup>	1,64±0,01 <sup>c</sup>	7,8±0,00 <sup>b</sup>	2,89±0,07 <sup>a</sup>	0,37±0,01 <sup>d</sup>	7,76±0,86 <sup>a</sup>	7,84±0,06 <sup>a</sup>

### 3.3. Hibiskus soğuk çaylarının duyuşal özellikleri

HET ile üretilen soğuk çayların duyuşal analiz sonuçları Tablo 3’te verilmiştir. Hibiskus soğuk çayları arasında renk, tat, aroma, bulanıklık ve genel beğeni açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ( $p>0,05$ ). Hibiskus soğuk çaylarının formülasyonda kullanıldığı bileşenlerin oranının (sitrik asit ve HET) değiştirilmesiyle ürünler arasında anlamlı bir fark ( $p>0,05$ ) gözlenmemiştir. Soğuk çay formülasyonlarında farklılıklar olmasına ve bu farklılıkların bazı enstrümantal ölçümler (asitlik, a\*, b\* TF vb.) ile tespit edilmesine rağmen duyuşal analizden herhangi bir parametresinde farklılık görülmemiştir. Tüm örneklerin aldığı duyuşal skorlar bu 4 formülasyonun da kabul edilebilir düzeyde olduğuna işaret etmektedir. Nguyen ve Chuyen, (2020) 80 °C de kurutulan hibiskus bitkisinden elde edilen çayın duyuşal değerlendirme sonuçlarının yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Hibiskus, antosiyanin içeriğiyle ilişkili olarak karakteristik bir asit tadına sahiptir ve bu tat elde edilecek ürünlerin lezzetine etki etmektedir ( Preciado-Saldaña ve ark., 2019). Ancak elde edilen sonuçlara göre, farklı Oranlarda HET içeren çaylar arasında lezzet farklılığı görülmemiştir. Bu durum lezzet farklılığı oluşturabilecek miktarda HET kullanılmadığını göstermektedir. Buna neden olan yapılan ön denemeler neticesinde ekstrem koşullardaki formülasyonların elenmiş olmasıdır. Yeni bir ürün geliştirilirken elde edilecek ürünün fonksiyonel özellik sağlayacak nitelikte yüksek miktarda

biyoaktif bileşik içermesi ve ürünün tekrarlanan tüketimini sağlayacak duyuşal niteliklere sahip olması tercih edilmektedir. Geliştirilen hibiskus soğuk çaylarının hem biyoaktif özellikler sergilemesi hem de duyuşal açıdan kabul edilebilir niteliğe sahip olması bu açıdan önemli bir yere sahiptir.

## 4. Sonuç

Hibiskus bitkisi önemli biyolojik aktivitelere sahip olan ve çeşitli gıda formülasyonlarında kullanım potansiyeli bulunan bir bitkidir. Bu çalışmada püskürtmeli kurutucuda toz forma dönüştürülmüş hibiskus ekstraktı tozu (HET) kullanılarak biyoaktif bileşiklerce zengin, içime hazır soğuk çay üretimi gerçekleştirilmiştir. Literatürde yer alan bazı çalışmalarda soğuk çayların konsantrasyonlarından üretildikleri görülmektedir. Bu çalışmada ise ekstraktların mikrobiyolojik ve depolama açısından daha güvenli bir formu olan HET ile üretim yapılması üretimde esneklik ve avantaj sağlamaktadır. Bitki çayı olarak da sıklıkla tüketilen hibiskus bitkisine soğuk çay gibi farklı ürünlerin bileşiminde de yer verilerek kullanım alanlarının artırılabilirliği düşünülmektedir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi [proje no: FYL-2018-8029] tarafından desteklenmiştir.

Tablo 3. Hibiskus soğuk çaylarının duyuşal özellikleri

Örnekler	Renk	Tat	Aroma	Bulanıklık	Genel beğeni
H <sub>1</sub>	3,75± 1,22 <sup>a</sup>	4,00± 1,04 <sup>a</sup>	3,36 ± 1,39 <sup>a</sup>	4,29±0,91 <sup>a</sup>	3,86±1,03 <sup>a</sup>
H <sub>2</sub>	4,29± 0,91 <sup>a</sup>	3,57± 1,09 <sup>a</sup>	3,21 ± 1,39 <sup>a</sup>	3,50±1,40 <sup>a</sup>	3,64±1,08 <sup>a</sup>
H <sub>3</sub>	3,68± 1,30 <sup>a</sup>	3,43± 1,40 <sup>a</sup>	3,21 ± 1,42 <sup>a</sup>	4,29±1,20 <sup>a</sup>	3,57±1,16 <sup>a</sup>
H <sub>4</sub>	4,57± 0,76 <sup>a</sup>	3,71± 1,14 <sup>a</sup>	3,36± 1,33 <sup>a</sup>	3,50±1,70 <sup>a</sup>	3,86±0,95 <sup>a</sup>

Tablo üzerinde verilen değerler 2 tekrarlı verilerin ortalama±standart sapma değerlerini ifade etmektedir. Aynı sütundaki farklı harfler ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ( $p<0,05$ ) göstermektedir.

## Kaynakça

- Akarca, G. ve Tomar, O. (2018). Siyah ve Yeşil Çay İle Üretilen Kombucha Çaylarının Antimikrobiyal ve Antioksidatif Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 14, 96–101.
- Alaşalvar, H. ve Çam, M. (2019). Process for production of ready to drink iced teas from sage (*Salvia officinalis* L.) and linden (*Tilia cordata*): pressurized hot water extraction and spray drying. *Food Science and Biotechnology*, 28(3), 779–785.
- Alaşalvar, H. ve Çam, M. (2020). Ready to drink iced teas from microencapsulated spearmint (*Mentha spicata* L.) and peppermint (*Mentha piperita* L.) extracts: physicochemical, bioactive and sensory characterization. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(3), 1366–1375.
- Andzi Barhé, T. ve Feuya Tchouya, G. R. (2016). Comparative study of the anti-oxidant activity of the total polyphenols extracted from *Hibiscus Sabdariffa* L., *Glycine max* L. Merr., yellow tea and red wine through reaction with DPPH free radicals. *Arabian Journal of Chemistry*, 9(1), 1–8.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. ve Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.
- Bülent, B., Hamza, A., Nurcan, D., Cemhan, D., Serap, B., & Mustafa, Ç. (2020). Wild mustard (*Sinapis arvensis*) parts: compositional analysis, antioxidant capacity and determination of individual phenolic fractions by LC–ESI–MS/MS. *Journal of Food Measurement & Characterization*, 14(3), 1671–1681.
- Cemeroğlu, B. S., (2013). Gıda Analizleri, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ankara.
- Preciado-Saldaña A, Abraham Domínguez-Avila J, Fernando Ayala-Zavala J, Villegas-Ochoa MA, Sáyago-Ayerdi SG, Wall-Medrano A, González-Córdova AF, González-Aguilar GA. (2019). Formulation and characterization of an optimized functional beverage from hibiscus (*Hibiscus sabdariffa* L.) and green tea (*Camellia sinensis* L.). *Food Science and Technology International*, 25(7), 547–561.
- Giritlioğlu, N., Yıldız, E. ve Gürbüz, O. (2020). Kombü Çayı Üretiminde Kapari Tomurcuklarının (*Capparis* spp.) Kullanımının Fenolikler, Antioksidant Kapasite ve Biyoerişilebilirliğe Etkisi. *Akademik Gıda*, 18, 390–401.
- Guardiola, S. ve Mach, N. (2014). Therapeutic potential of *Hibiscus sabdariffa*: A review of the scientific evidence. *Medicina Intensiva*, 61(5), 274–295.
- Hopkins, A. L., Lamm, M. G., Funk, J. L. ve Ritenbaugh, C. (2013). *Hibiscus sabdariffa* L. in the treatment of hypertension and hyperlipidemia: A comprehensive review of animal and human studies. *Fitoterapia*, 85(1), 84–94.
- Karataşoğlu, E., Demirel, E., Şahin, T., Berktaş, S. ve Çam, M. (2021). Kalorisi azaltılmış mor reyhan soğuk çayı üretimi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(2), 163–171.
- Maciel, L. G., do Carmo, M. A. V., Azevedo, L., Daguer, H., Molognoni, L., de Almeida, M. M., ... Rosso, N. D. (2018). *Hibiscus sabdariffa* anthocyanins-rich extract: Chemical stability, in vitro antioxidant and antiproliferative activities. *Food and Chemical Toxicology*, 113, 187–197.
- Moser, C., Jaqueline, P., Barboza, G., Amanda, J. ve Mizuta, G. (2021). Comparative studies on chemical stability, antioxidant and antimicrobial activity from hot and cold hibiscus (*Hibiscus sabdariffa* L.) calyces tea infusions. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(4), 3531–3538.
- Naji, A. (2018). *İstant Hibiskus Çayı Üretimi*. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Nguyen, Q. V. ve Chuyen, H. Van. (2020). Processing of Herbal Tea from Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.): Effects of Drying Temperature and Brewing Conditions on Total Soluble Solid, Phenolic Content, Antioxidant Capacity and Sensory Quality. *Beverages*, 6, 2.
- Özünlü, O., ve Ergezer, H. (2019). İnfüzyon Yöntemi Kullanılarak Kurutulmuş Enginar Çanak Yaprığı Katkılı Soğuk Yeşil Çay Üretimi. *Akademik Gıda*, 17(4), 458–467.
- Roberta Re, Nicoletta Pellegrini, Anna Proteggente, Ananth Pannala, Min Yang, A. C. R.-E. (1999). Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 1231–1237.
- Singleton, V. L. ve Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.
- Viljoen M, Muller M, De Beer D, Joubert E (2017). Identification of broad-based sensory attributes driving consumer preference of ready-to-drink rooibos iced tea with increased aspalathin content. *South African Journal Botany*, 110:177–183.
- Zhishen, J., Mengcheng, T. ve Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*.



# A-GIS Based Risk Assessment Approach for Evaluating Shelters in Crisis Areas: Case of Idleb/Syria

Jamil Hallak<sup>1</sup>, Melik Koyuncu<sup>2</sup>, Pınar Özkurt<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup> Dr Industrial Engineer, Gaziantep, Turkey (ORCID: 0000-0001-5975-4075), [jamil.hallak@southwales.ac.uk](mailto:jamil.hallak@southwales.ac.uk)

<sup>2</sup> Çukurova University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Adana, Turkey (ORCID: 0000-0003-0513-6276), [mkoyuncu@cu.edu.tr](mailto:mkoyuncu@cu.edu.tr)

<sup>3</sup> Tarsus University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Management Information Systems, Tarsus, Turkey (ORCID: 0000-0002-9655-0319), [pinarozkurt@tarsus.edu.tr](mailto:pinarozkurt@tarsus.edu.tr)

(First received 10 October 2021 and in final form 25 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1007768)

**ATIF/REFERENCE:** Hallak, J., Koyuncu, M. & Özkurt, P. (2021). A GIS-Based Risk Assessment Approach for Evaluating Shelters in Crisis Areas: Case of Idleb/Syria. *European Journal of Science and Technology*, (31), 837-851.

## Abstract

Millions of people escaped the country, and numerous individuals were displaced since the crisis in Syria started on March 15, 2011. Particularly, internally displaced persons confront troubles in the sense of shelter and housing requirements. The aim of this paper is to propose a new approach for risk assessment in selecting shelters at humanitarian context in crisis areas by employing real data from the region. We included conducting risk assessment in crisis areas, identifying the risks/criteria using the Delphi technique, prioritizing risks using Interval Type-2 Fuzzy Analytic Hierarchy Process (IT2F-AHP), and finally selecting the shelters with lower risk values. For this purpose, we created risk maps for each individual risk/criterion by employing the Geographic Information System (GIS) and merged the risks' maps into a single final risk map by overlaying them utilizing the weights produced from F-AHP to discover the complete risk value for each area in the study region. Lastly, we extracted and ranked the final risk values for the shelters to enable the decision maker to consider the lower-risk value shelters, as it can aid in expediting and facilitating the housing solutions at times of disasters and crisis.

**Keywords:** Syria Crisis, Risk Assessment, Delphi Technique, Shelter, IT2F-AHP (Interval Type-2 Fuzzy Analytic Hierarchy Process), Geographic Information System (GIS).

## Kriz Alanlarında Sığınakları Değerlendirmek için CBS'ye Dayalı Bir Risk Değerlendirme Yaklaşımı: İdlib/Suriye'de Uygulama

### Öz

Suriye'deki kriz 15 Mart 2011'de başladığından beri milyonlarca insan ülkeden kaçmıştır ve çok sayıda birey yerlerini değiştirmiştir. Özellikle, ülke içinde göç etmek zorunda kalmış insanlar sığınak ve barınma açısından zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu çalışmanın amacı, bölgeden gerçek veriyi kullanarak, kriz alanlarında insani yardım kapsamında sığınakları seçmenin risk değerlendirmesi için yeni bir yaklaşım önermektir. Çalışmaya; kriz alanlarında risk değerlendirmesi yürütme, Delphi tekniği ile riskleri/kriterleri belirleme, Aralık Tip-2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (IT2F-AHP) kullanarak riskleri önceliklendirme ve son olarak düşük risk değerlerine sahip sığınakları seçme dâhil edilmiştir. Bu amaçla, Coğrafi Bilgi Sistemi'ni (CBS) kullanarak her risk/kriter için risk haritaları oluşturulmuştur ve çalışma bölgesindeki her alanın son risk değerini bulmak için, Bulanık AHP'den elde edilen ağırlıklardan faydalanarak ve risk haritaları örtüştürülerek tek bir nihai risk haritasına dönüştürülmüştür. Son olarak, afet ve kriz zamanlarındaki barınma çözümlerini kolaylaştırabileceği ve hızlandırabileceğinden dolayı, karar vericinin düşük risk değerli sığınakları göz önünde bulundurmasını sağlamak için, sığınakların nihai risk değerleri bulunmuş ve sığınaklar sıralanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Suriye Krizi, Risk Değerlendirme, Delphi Tekniği, Sığınak, Aralık Tip-2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS).

\* Corresponding Author: [pinarozkurt@tarsus.edu.tr](mailto:pinarozkurt@tarsus.edu.tr)

## 1. Introduction

An individual or a group of individuals, who have been compelled or obligated to run away or set off their homes/rooted locations, particularly in consequence of or on the purpose of refraining from the harmful impacts of armed conflict, circumstances of generalised brutality, disregards of human rights, natural or artificial disasters, and have not crossed over an internationally recognised border, are termed as “internally displaced people” (IDPs) (Inee Toolkit, 2019). According to United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR), the estimated number of IDPs worldwide is approximately 36 million at present, and approximately 3 million of these individuals are looking for asylums. Of the 36 million IDPs, about 16% belong to Syria only. These numbers are increasing every twenty minutes due to ongoing wars in several countries. The grim reality about IDPs is that it is difficult to reach them, and unfortunately, they are not preserved by a specific status (Bilak et al., 2015). As a result of these circumstances, IDPs are among the most defenseless people in the world today (UNHCR, 2019). Since they lack education in a land with cultural and religious diversities, their living conditions are caustic. Hence, they encounter considerable obstacles to fulfil their needs, just as accession to foodstuffs, water, shelter, and health services. Furthermore, mortality rate in complicated emergencies is estimated to be the highest among IDPs when in comparison with those among the occupants or migrants with refugee status (Heudtlass et al., 2016).

As Syria hosts more than 15% of IDPs worldwide, this subject requires a considerable emphasis. The reason for higher number of IDPs in Syria is the Syrian Crisis, which started out on March 2011 at Daraa city in the southwestern part of the country. It is considered one of the most complicated and dynamical humanitarian crisis in the world. The spread and intensification of conflicts has led to a dire humanitarian crisis with approximately 6.3 million IDPs and approximately 4.5 million people live in hard-to-reach and encircled regions, as pointed out by the UNHCR. Over half of the citizens has been forced to leave their houses, and many individuals have been moved several times. Furthermore, children and young person constitute more than half of the displaced people. Ongoing conflicts; which render the settlements, hospitals, and trade centers dysfunctional, are the fundamental reasons of internal migration. Of the 6.3 million IDPs in all Syrian governorates; 908,929 IDPs belong to the Idleb governorate, which represents approximately 15% of the total number of IDPs and this situation is ranked to be the second after Rural Damascus.

Thus, Idleb governorate plays a significant role in the current situation. Before conducting studies to devise permanent solutions for this humanitarian situation, obtaining real data by analyzing the region’s circumstances is of capital importance.

However, to best of our knowledge, there is no systematic statistics that contains the real data about target areas in crisis regions, such as Idleb/Syria. Therefore, in the

light of all the factors discussed so far, the objective of this study is to handle one of the crisis area’s survival problems using the risk assessment aspect from the humanitarian perspective and bridging the gaps in the related subject by serving as an effective source for similar problems. We focused on determining shelters in Idleb based on the risk factors. For this purpose, we presented a novel method that ranks all the candidate shelters according to their risk value using a Geographic Information System (GIS) - based risk assessment. For the risk evaluation, we utilized the Delphi method to discover the potential risks in an ongoing conflict area and then prioritized the risks by applying a Fuzzy Analytic Hierarchy Process (F-AHP). For identifying the risks, we collected the real data from the specific area using beneficiaries and direct stakeholders. The data obtained are projected in GIS as geographic layers and all the identified risks are merged in the final layer to procure the final risk map. The method constituted the shelter risk ranking, which aided us in determining the shelters based on their final risk values. These points are the motive that makes this study valuable contribution in determining the available shelters for IDPs in the conflict area. To this end, our contributions, compared to existing literature can be summarized as indicated below:

- First of all, the proposed approach provides a beneficial procedure to decision makers for assaying and selecting the shelters based on risk assessment.
- Secondly, the proposed approach is applicable in crisis areas for obtaining the best possible solutions from a humanitarian perspective and providing solutions for IDPs’ housing issues.
- Thirdly, it depicts the possibility of analyzing a multi-criteria decision-making methodology with GIS techniques using real-time data and fuzzy logic.
- Last but not the least, the proposed approach can be used by any institution or authority in conflict contexts.

The remaining of this paper is organised in this way: in the Section 2, we represent a literature review with a short summary of the related studies; in Section 3, we propose the risk assessment approach employed in this study; Section 4 demonstrates the case study results with risk maps generated by the GIS and finally Section 5 summarizes the discussions about this study and presents suggestions for further studies.

## 2. Literature Review

In this study, we handle a risk assessment approach with GIS for shelter location problem. In literature, we encountered various aspects which indicated that none of the studies matched our topic entirely. Several studies suggested risk assessment approaches in conflict areas (Mock et al., 2004; Burnley et al., 2008; Yu and Lee, 2012). While one of the studies proposed a systematic approach to conduct a domestic armed conflict risk assessment in any part of the world by constructing a statistical model (Burnley et al., 2008; another presented a framework for risk assessment with the aim of preventing the human immunodeficiency



virus in conflict-affected surroundings in Africa (Mock et al., 2004). Yu and Lee (2012) concentrated on an urban reformation project and organized a conflict-risk evaluation model based on Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (Fuzzy-FMEA).

However, any study did not address risk assessment via GIS in a conflict area. Particularly in humanitarian areas, it is not sufficient to only optimize the shelter's locations to include as many individuals as possible; it is also important to ensure that the risks in these shelters are relatively low. This enables the process of selecting the available shelters with lower risk levels and alleviating the misery of IDPs within that specific crisis area. At this point, Geographic

Information System (GIS) can handle and analyze large scale spatial data efficiently (Zhang et al., 2017; Çeliker et al., 2019; Karimi et al., 2019).

Therefore, the GIS platform, which is a valuable resource for such studies, is required to project all the risk values and criteria corresponding to the target area on maps, analyze all the risk criteria, and then extract the output values from maps to each of the candidate shelters. It is observed that the GIS is applied widely in literature for humanitarian solutions for risk assessment. The summary of GIS-based Risk Assessment Studies containing utilized approach and problem area are presented by Table 1 below.

Table 1. Summary of GIS-Based Risk Assessment Studies

Author(s)	Approach	Problem Area
Huabin et al. (2005)	GIS Based Landslide Hazard Assessment	The state of the art of landslide hazard evaluation focusing GIS-based techniques
Abdalla et al. (2006)	GIS, Digital Evaluation Model (DEM), Digital Terrain Model (DTM)	Evaluating flood risk of the Qu'Appelle River, Southern Saskatchewan, Canada
Fedeski and Gwiliam (2007)	GIS, Vulnerability Index	Developing a risk assessment methodology for flood and geological hazards and applying in Lewes, Sussex, UK
Wang et al. (2011)	GIS, Spatial Multi Criteria Decision Analysis (SMCA)	Flood Risk Evaluation in the Dongting Lake Region, China
Beni et al. (2012)	GIS, Spatio-Temporal Analysis	Assessing food safety risks in Canadian food distribution organizations
Uddin et al. (2013)	GIS, Remote Sensing	Identifying flood hazard zones and flood shelters in Sindh Province, Pakistan
Alcorn et al. (2013)	GIS, Multi-Criteria Evaluation	Volcanic hazard and risk evaluation of eruptions in Valles Caldera, New Mexico, USA
Abdalla et al. (2014)	GIS, Three-Dimensional Fuzzy Risk Assessment, Hydro, Statistical Simulation	Measuring the flood risk evaluation at the Red River in Southern Manitoba, Canada
Sarkar et al. (2016)	GIS, Remote Sensing, Fuzzy-based Risk Assessment Model (FRAM)	Specifying the areas with varying intensity of wetland conversion risk in East Kolkata Wetland Area, India
Aye et al. (2016)	GIS, Web Based Tool	Analyzing the impacts and consequences of a certain hazard event in the Fella River basin, Italy
Çankaya et al. (2016)	GIS, Multi-Criteria Decision Analysis, AHP	Tsunami risk evaluation in Yenikapı, İstanbul, Turkey
Zhao and Liu (2016)	GIS, Regional Risk Assessment	Evaluating regional urban major hazards in urban district of northern China
Chen et al. (2017)	GIS, Disaster Risk Analysis	Urban emergency shelter system for natural disasters in Guangzhou, China
Şentürk and Erener (2017)	GIS, Multi Criteria Analysis, AHP	Determining temporary shelter areas in natural disasters for Gölçük, Turkey
Al-Awadhi et al. (2018)	GIS, Flood Hazard Maps	Assessing flooding risk analysis for Muscat, Sultanate of Oman
Isahak et al. (2018)	GIS, Flood Disaster Risk Map	Delineating risk zones and evaluating shelter centers for Pahang River, Malaysia
Rincon et al. (2018)	GIS, Multi Criteria Analysis (AHP)	Developing updated and accurate flood risk maps in Greater Toronto Area, Canada
Chen et al. (2018)	GIS, Spatial Distribution	Selecting urban resources and allocating for emergency shelters in Guangzhou, China
Repetto et al. (2018)	GIS, Web Based Platform	Assessing complex structural and infrastructural systems' risk for wind exposure
Sahoo and Bhaskaran (2018)	GIS, Multi Hazard Risk Assessment	Risk assessment of coastal vulnerability from typical cyclones in Odisha coast, India

Lyu et al. (2018)	GIS, AHP, Interval AHP (I-AHP)	Flood risk assessment in the Guangzhou metro system, China
Pence et al. (2019)	GIS, Level 3 Probabilistic Risk Assessment (PRA)	Advancing emergency preparedness, planning, and response for severe nuclear power plant accidents in Surry Power Station, USA
Cai et al. (2019)	GIS, Multi-Index Fuzzy Comprehensive Evaluation Model	Analyzing flood disaster risk in the urban area of Yifeng, Jiangxi Province, China.
Eccles et al. (2019)	GIS, Spatial Analysis	Evaluating spatial ecological risk in Athabasca Oil Sands Area, Canada
Zhang et al. (2019)	GIS, Hazards that Create Risk	Increasing tsunami shelter accessibility in Nagoya city, Japan
Benguerai et al. (2019)	GIS, Remote Sensing	Forest fire risk assessment in Northwest Algeria
Shalyari et al. (2019)	GIS, Monte Carlo Simulation	Health risk evaluation of nitrate in groundwater resources of Iranshahr, Iran
Gallego et al. (2019)	GIS, PROMETHEE, AHP	Risk assessment for livestock production in Valencian Community (VC), Spain
Skilodimou et al. (2019)	GIS, Multi-Criteria Analysis, AHP	Multi hazard assessment for natural hazards in Peneus (Pinios) River, Greece
Gao et al. (2019)	GIS, AHP, Fuzzy Theory, Pollutant Diffusion Model	Regional water ecosystem risk assessment in Shenzhen eco-industrial park, China
Hawchar et al. (2020)	GIS, High Level Risk Analysis	Assessing climate change risk of critical infrastructure in Ireland
Yariyan et al. (2020)	GIS, Fuzzy AHP, Artificial Neural Networks	Evaluating the extent of earthquake vulnerability in Sanandaj, Iran
Hadipour et al. (2020)	GIS, Spatial Multi-Criteria Decision Analysis (SMCA), AHP	Providing a coastal flood risk assessment approach and implementation in Bandar Abbas City, Iran
Zhang et al. (2020)	GIS, Spatial Multi-Index Model	Flood risk assessment in the Yangtze River Basin, China
Ak et al. (2020)	GIS, Spatial Decision Support System (SDSS)	Analyzing hazardous materials transportation risk in Istanbul, Turkey
Török et al. (2020)	GIS, Risk Based Quantitative Approach	Evaluating territorial compatibility for Seveso-type sites in Oltschim Chemical Plant, Romania
Psomiadis et al. (2020)	GIS Based Multi Criteria Analysis, AHP	Landslide susceptibility and risk evaluation in the Basin of the Sperchios River, Greece

As seen from Table 1, the framework of GIS-based risk assessment studies varies. For example, while some studies focused on climate change risk assessment (Hawchar et al., 2020), ecological risk assessment (Eccles et al., 2019) or food safety risk assessment (Beni et al., 2012); some papers handled the related topic for natural disasters. In this context, some studies concentrated on multiple disasters (Chen et al., 2017; Chen et al., 2018); however, there are risk assessment researches on earthquake (Yariyan et al., 2020), fire (Benguerai et al., 2019), landslide (Huabin et al., 2005; Aye et al., 2016; Psomiadis et al., 2020), tropical cyclone (Sahoo and Bhaskaran, 2018), tsunami (Çankaya et al., 2016) and volcanic hazard (Alcorn et al., 2013). Still, it is observed that majority of existing studies concentrated on utilizing GIS for flood risk assessment (Abdalla et al., 2006; Fedeski and Gwilliam, 2007; Wang et al., 2011; Uddin et al., 2013; Abdalla et al., 2014; Aye et al., 2016; Al-Awadhi et al., 2018; Isahak et al., 2018; Rincón et al., 2018; Lyu et al., 2018; Cai et al., 2019; Hadipour et al., 2020; Zhang et al., 2020).

However, to the best of our knowledge, six of the studies integrated GIS and risk assessment to resolve the shelter issues (Uddin et al., 2013; Chen et al., 2017; Şentürk and Erener, 2017; Isahak et al., 2018; Chen et al., 2018; Zhang et

al., 2019) (Table 1). But, application of these studies was limited to natural disasters.

Therefore, this study is motivated by the fact that it is important to determine shelter locations, particularly in conflict areas, based on the risk factors related to the conflict. As indicated by the literature review, no studies have addressed the shelter locations in crisis areas by integrating the risk assessment process from the humanitarian perspective. Other distinguishing features of this study are the introduction of a novel approach based on GIS and application of the Delphi method and F-AHP for determining the possible risks and prioritizing the related risks, respectively.

### 3. Material and Method

#### 3.1. Risk Assessment Approach

In this section, we present a risk assessment approach starting from collecting the related data to calculating the risk parameters for identifying the final risk for each shelter. Figure 1 presents the approach proposed in this study for assessing the risks in the targeted area and choosing the shelter locations based on it. As shown in Figure 1, the

proposed approach was primarily based on risk assessment in the conflict areas using: Delphi technique to identify the criteria according to the beneficiaries lived in the affected area; Interval Type-2 Fuzzy AHP to handle uncertainty while calculating the weights of each criteria (since we are utilizing opinions and words which mean different evaluations/values to different experts) and GIS to draw the related maps to each criterion and overlapping all maps to find out the final risk map. The proposed approach included six basic stages (Figure 1):

1. *Collecting Data:* A needs assessment was conducted using surveys and interviews to assess the needs and understand the context in the study region with respect to considered factors, criteria, and related risks from the perspectives of direct beneficiaries and local authorities. The data about Idleb were drawn from direct beneficiaries and key informants across all 26 sub-districts in the Idleb governorate. For this case study, relevant data were collected between January 03, 2019 and March 22, 2019.

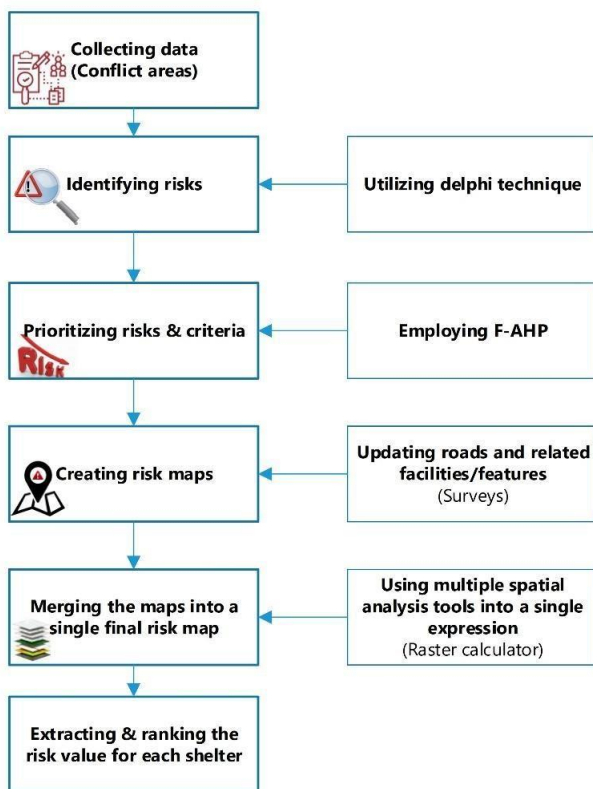


Figure 1. Flowchart of the Proposed Methodology

2. *Identifying Risks Using the Delphi Technique:* All of the decision makers do not live in the same location and therefore, they possess various points of view about the topic. However, it is essential to achieve a consensus on the identification of risks related to determining the shelters. Due to the previous reasons and to allow experts express their views and opinions in an individual and anonymous way and to access other experts' views as the process, the Delphi

technique is utilized. By this tool, we combine 3 dedicated expert's opinions from different areas and contexts to help and influence the identification. It is a collaborative method for building consensus between specialists and includes independent investigation and voting by the specialists. Throughout this tool, every expert can define the risks without the effect of other experts on his/her opinion.

In this paper we have two types of criteria; the first one is crisp/non-spatial criteria which is determined by crisp value and not related to spatial data such as the cost and number of IDPs. The second type is spatial criteria which is related to the spatial data such as the closeness from frontlines or main roads.

We deal with these two types from the risk perspective and we handle the crisp type as a risk for example the higher cost corresponds to the higher risk and the lower cost corresponds to the lower risk. Then we reflect this information on the map to study all criteria from the maps perspective and solve the problem by the GIS tool to facilitate the process of selecting shelters in such a crisis context for the people in the area; instead of utilizing high-advance mathematical software which is not available right now for local authorities in the crisis area.

As a result, criteria/risks are defined in the study and categorized as described in Figure 2.

3. *Prioritizing Risks and Criteria Using Interval Type-2 Fuzzy AHP:* In this stage, the risks/criteria were arranged in a hierarchical structure and evaluated by the 3 dedicated experts from various points of view. The relative importance of each criterion was determined using linguistic variables and the uncertainty was obtained by presenting interval type-2 trapezoidal membership function.

4. *Creating Risk Maps:* After updating/collecting the related spatial data for each risk identified in Stage (2), the maps were generated for each criterion/risk as below:

- Building and updating the roads network using GIS;
- Facility locations, for instance schools and hospitals, to classify the study region according to the real distance from these facilities;
- Features of shelters, such as the capacity and setup costs.

A risk map was created by classifying the areas, which demonstrate the areas from the lower risk throughout the high-risk areas. Each identified risk is classified under one of the six classes according to experts (on a scale of 1–6 with 1 being/having the lowest risk and 6 being/having the highest risk). As shown in Figure 2, the risks are divided under three categories: (i) Criteria that affect the implementation of humanitarian actors as these actors/organizations conduct projects in the crisis area, the risks need to be analyzed from their perspectives. (ii) Criteria affecting the civilian population, as they have been

suffering from the crisis more than eight years and are the direct beneficiaries. (iii) Criteria that affect the both categories (i) and (ii).

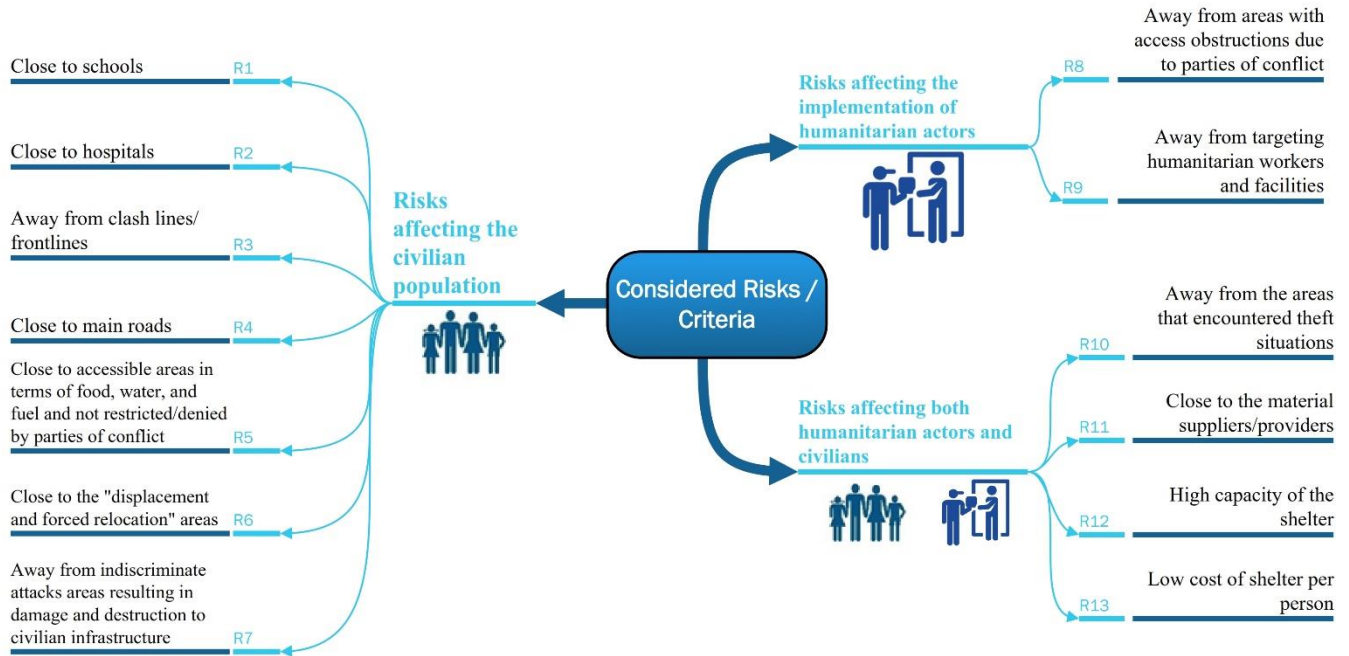


Figure 2. Risks and Categories Utilized in the Study

**5. Merging the Risks Maps into a Single Final Risk Map:** After building different risk maps, a single final risk map was created by overlaying maps using the weights calculated in Stage (3) to find out the complete risk value of each area in the study location. Equation (1) below is used to compute the final risk value by multiplying each risk/criteria weight by the respective risk value and then obtaining the sum of the all of the products calculated. This was performed using the GIS package (ArcMap 10.4.1).

$$FRV = \sum_{n \in N} RW_n RV_n \quad (1)$$

where N is the set of risk map/layer ( $n \in N$ ), FRV is the final risk value, RW is the risk weight calculated using the IT2F-AHP, and RV is the risk value of each criterion in the area.

**6. Extracting and Ranking the Final Risk Value for Shelters:** In this stage, we extracted the final risk value for each shelter in the area according to the shelter's location in the final risk map obtained from Stage (5). Then, we ranked them ascendingly from low to high-risk values to enable the decision makers to consider the shelters with lower-risk values.

**3.2. Prioritizing Risks Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP)**

Using Interval Type-2 Fuzzy AHP, the goal and criteria were arranged in a hierarchical structure and evaluated by experts. The comparative importance of each criterion was specified using linguistic variables, which were represented as trapezoidal interval type-2 fuzzy scales as shown in Figure 3 where for linguistic variable there is upper trapezoidal membership function (-U) and Lower trapezoidal membership function (-L). In this study, The Defuzzified Triangular Type-2 Fuzzy Set (DTTrT) method (Kahraman et al., 2014) is utilized to convert the fuzzy evaluations into their corresponding crisp values.

A 5-point scale was utilized to describe the relative significance of criterion with regard to the others as summarized in Table 2 and graphically in Figure 3.

Fuzzy comparison matrix  $\tilde{A}$  representing the fuzzy relative importance of each pair elements is defined by Equations (2) and (3) below (Öztayşi, 2015):



Table 2. Interval Type-2 Fuzzy Scales for Pairwise Comparison (Öztayşi, 2015)

Linguistic variables	Trapezoidal Interval Type-2 fuzzy scales
Absolutely Strong (AS)	(7,8,9,9;1,1) (7.2,8.2,8.8,9;0.8,0.8)
Very Strong (VS)	(5,6,8,9;1,1) (5.2,6.2,7.8,8.8;0.8,0.8)
Fairly Strong (FS)	(3,4,6,7;1,1) (3.2,4.2,5.8,6.8;0.8,0.8)
Slightly Strong (SS)	(1,2,4,5;1,1) (1.2,2.2,3.8,4.8;0.8,0.8)
Exactly Equal (E)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;1,1)

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ 1/\tilde{a}_{12} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{1n} & 1/\tilde{a}_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$1/\tilde{a}_{12} = \left[ \left[ \frac{1}{a_{14}^U}, \frac{1}{a_{13}^U}, \frac{1}{a_{12}^U}, \frac{1}{a_{11}^U} ; H_1(a_{12}^U), H_2(a_{13}^U) \right], \left[ \frac{1}{a_{24}^L}, \frac{1}{a_{23}^L}, \frac{1}{a_{22}^L}, \frac{1}{a_{21}^L} ; H_1(a_{22}^L), H_2(a_{23}^L) \right] \right] \quad (3)$$

The geometric mean method is applied to get the fuzzy geometric mean  $\tilde{r}_i$  with Equation 4 given below (Öztayşi, 2015):

$$\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i2} \times \tilde{a}_{i3} \times \dots \times \tilde{a}_{in})^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

The fuzzy weight  $\tilde{w}_i$  of the  $i$ .th criterion is computed with Equation 5 given below (Öztayşi, 2015):

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \times (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \dots + \tilde{r}_n)^{-1} \quad (5)$$

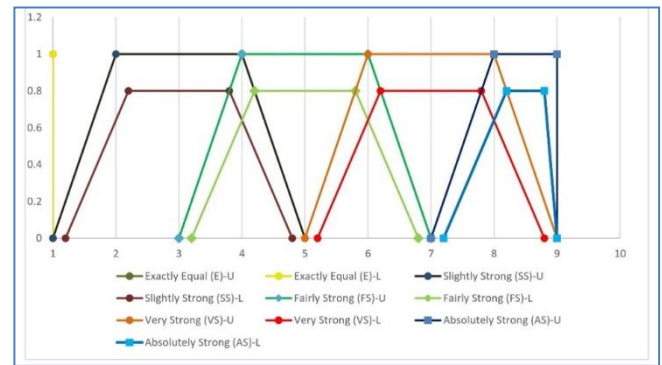


Figure 3. Fuzzified Scale Type 2 for Pairwise Comparison

Table 3 lists the weights obtained using interval type-2 fuzzy AHP in this paper which shows risks criteria are prioritized and ranked from 1 to 13.

Table 3. Weights Obtained from Interval Type-2 Fuzzy AHP

Risk No.	Fuzzy Weights $\tilde{W}_i$	Normalized Weight (NW)	Risk Ranking (From 1 to 13)
R1	(0.11,0.17,0.32,0.45;1,1) (0.12,0.18,0.3,0.42;0.8,0.8)	0.02	10
R2	(0.09,0.14,0.27,0.39;1,1) (0.1,0.15,0.25,0.36;0.8,0.8)	0.03	9
R3	(0.07,0.1,0.21,0.33;1,1) (0.07,0.11,0.2,0.3;0.8,0.8)	0.22	1
R4	(0.05,0.08,0.16,0.26;1,1) (0.06,0.09,0.15,0.23;0.8,0.8)	0.01	13
R5	(0.04,0.06,0.12,0.2;1,1) (0.04,0.06,0.11,0.18;0.8,0.8)	0.09	5
R6	(0.03,0.05,0.1,0.16;1,1) (0.04,0.05,0.09,0.14;0.8,0.8)	0.07	6
R7	(0.02,0.03,0.07,0.11;1,1) (0.02,0.04,0.06,0.1;0.8,0.8)	0.05	7
R8	(0.02,0.02,0.05,0.08;1,1) (0.02,0.03,0.04,0.07;0.8,0.8)	0.15	3
R9	(0.01,0.02,0.04,0.07;1,1) (0.01,0.02,0.04,0.06;0.8,0.8)	0.19	2
R10	(0.01,0.01,0.03,0.04;1,1) (0.01,0.01,0.03,0.04;0.8,0.8)	0.03	8
R11	(0.01,0.01,0.02,0.03;1,1) (0.01,0.01,0.02,0.03;0.8,0.8)	0.01	12
R12	(0.01,0.01,0.01,0.02;1,1) (0.01,0.01,0.01,0.02;0.8,0.8)	0.01	11
R13	(0,0.01,0.01,0.01;1,1) (0,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	0.12	4

## 4. Case Study and Results

### 4.1. Case Study

We have applied proposed methodology to a crisis area in Idleb, Syria for our case study since this area contains the highest number of IDPs in need to shelter housing solutions. This is carried on by applying the methodology defined in the Material and Method Section.

The Idleb governorate is located in the northwest of Syria and has a border with Turkey. Its total size is 6,097 km<sup>2</sup> and has approximately 1,464,000 person (this number is 2010 prediction, because due to ongoing crisis in the country, there is not any updated population prediction).

In the preparation process of this study, an evaluation is performed in the study region. Within this evaluation, our aim was specifying and assessing the condition of shelters, IDPs, and

related factors in the target area. Figure 4 demonstrates the pattern of IDPs and nominee shelters corresponding to the location-allocation problem addressed in this study.

The data about the study area's characteristics, such as the capacity, costs of setup, and IDPs are collected by conducting surveys and interviews in coordination with the authorities in the area (local councils and civil community organizations). A total of 331 nodes are incorporated in the study. Moreover, 51 nominee shelters with varied capacities, costs, and distances from the frontlines/clashes, hospital, and schools are also taken into consideration for the study.

Authorities in the region are facing so many difficulties in terms of finding the most suitable candidate shelters to allow the most vulnerable IDPs who are living in random cluster of makeshifts, cramped tents to move to those selected shelters which have better circumstances (built by concrete/bricks and contain an operating kitchen, bathroom) to improve their lives, give them privacy and dignity. Before this approach, the selection of shelters and IDPs was utilized by a non-systemically

approach, according to decision of local authorizes and sometimes without any transparency to beneficiaries in the area.

Thus, in this study, each service facility, such as a school, hospital or shelter is determined by its longitude and latitude. Afterwards, a road network dataset is built and definitions of the classes of area according to the distance from this service facility are realized. For instance, Class 1 defined the area within a distance of 1 km from the school, and Class 2 defined the area within a distance of 2 km from the school. This definition is continued until the distance between the area and service facility was higher than 10 km. All the classes corresponding to each criterion are listed in Table 4. These definitions were obtained based on the interviews/surveys with experts and key stakeholders in each field. This approach provided the desired values to be used in the classification of each risk/criterion. In this process, the experts and key stakeholder agreed on making 6 categories to classifying the risks in humanitarian context. We employed the Natural Break (Jenks) classification method for this purpose.

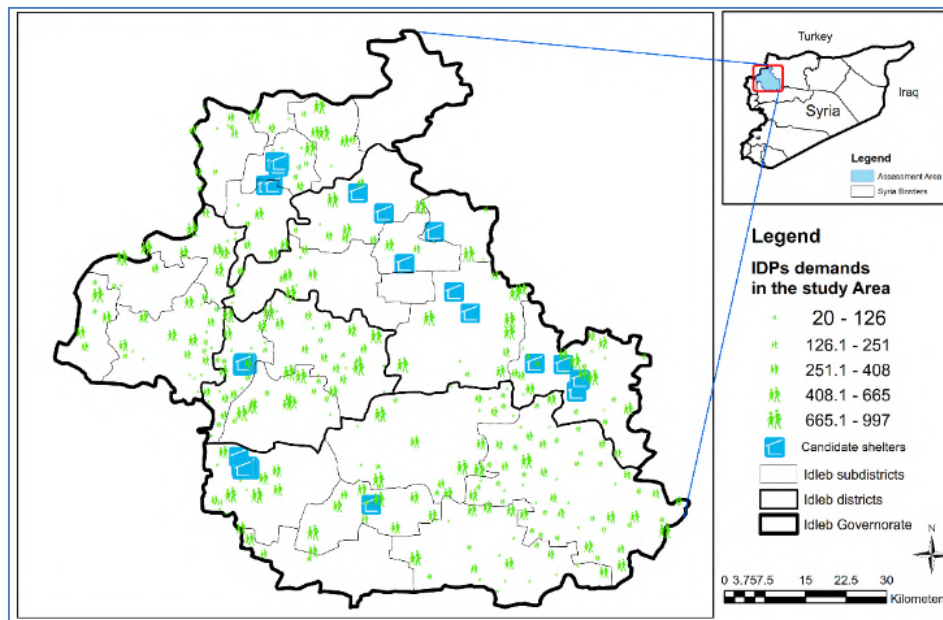


Figure 4. Overview About Displacement and Candidate Shelters in Idlib, Syria

Table 4. Risk Classifications for Each Identified Risk in the Study

Risk No.	Risk classification
	<b>6 classes: from class 1 (low risk) through class 6 (high risk)</b>
R1	1 - low risk: Located within a region of 5 km from schools 6 - high risk: Located in a region 10 km away from schools
R2	1 - low risk: Located within a region of 5 km from hospitals 6 - high risk: Located in a region 50 km away hospitals
R3	1 - low risk: Located within a region of 5 km from frontlines 6 - high risk: Located in a region 10 km away from frontlines
R4	1 - low risk: Located within a region of 5 km from main roads 6 - high risk: Located in a region 10 km away from main roads
R5	1 - low risk: fully accessible 6 - high risk: fully besieged
R6	1 - low risk: number of IDPs is more than 7824/km <sup>2</sup> in the area surveyed 6 - high risk: number of IDPs is less than 1505/km <sup>2</sup> in the area surveyed

R7	1 - low risk: no incident reports were issued about indiscriminate attacks during the last year in the area surveyed 6 - high risk: more than 10 incident reports were issued about indiscriminate attacks during the last year in the area surveyed
R8	1 - low risk: no incident reports were issued about access obstructions during the last year in the area surveyed 6 - high risk: more than 10 incident reports were issued about access obstructions during the last year in the area surveyed
R9	1 - low risk: no incident reports were issued about targeting humanitarian workers and facilities during the last year in the area surveyed 6 - high risk: more than 10 incident reports were issued about targeting humanitarian workers and facilities during the last year in the area surveyed
R10	1 - low risk: no incident reports were issued about areas encountered theft situations during the last year in the area surveyed 6 - high risk: more than 10 incident reports were issued about areas encountered theft situations during the last year in the area surveyed
R11	1 - low risk: Located within a region of 5 km from vendors' locations 6 - high risk: Located in a region 50 km away from vendors' locations
R12	1 - low risk: shelter capacity is within 679–989 individuals 6 - high risk: shelter capacity is within 40–90 individuals
R13	1 - low risk: setup costs of 22–34 \$/person in the candidate shelter 6 - high risk: setup costs 94.1–135 \$/person in the candidate shelter

Figure 5, 6, 7, 8 below show the top four prioritized risks according to IT2F-AHP results obtained from Table 3. These risk maps can be described respectively as follows: away from

clash lines; away from the area that targets humanitarian workers; away from access obstructions by parties of conflict and shelters' setup costs [\$/person].

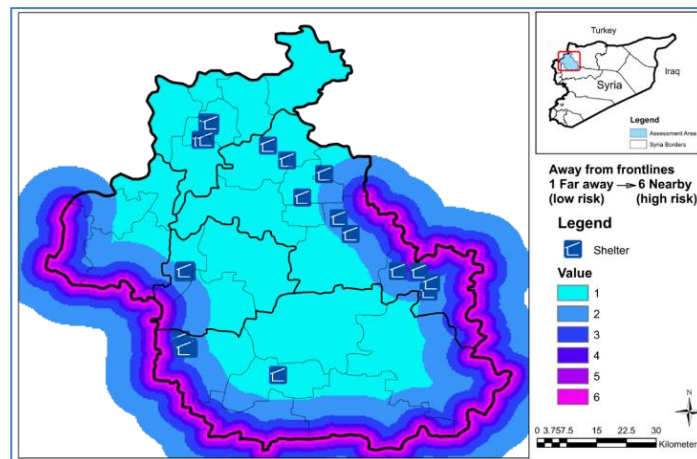


Figure 5. Risk Map: Away from Clash Lines/Frontlines in Idleb, Syria

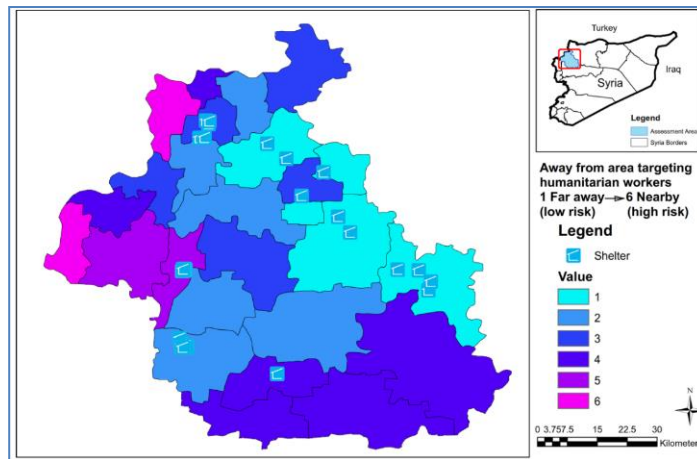


Figure 6. Risk Map: Away from the Area Targeting Humanitarian Workers

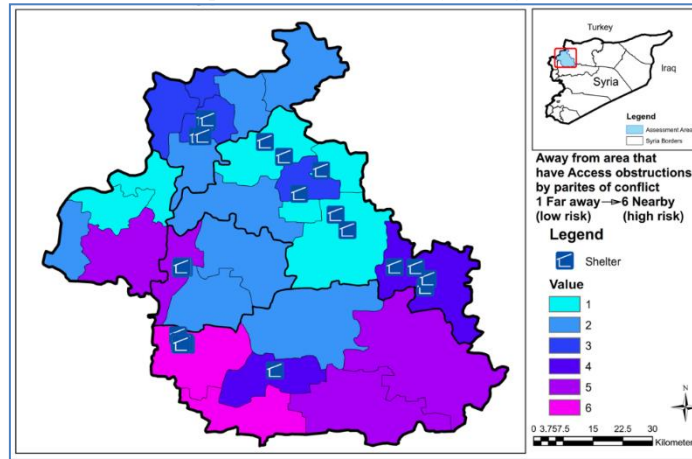


Figure 7. Risk Map: Obstructions by Parties of Conflict

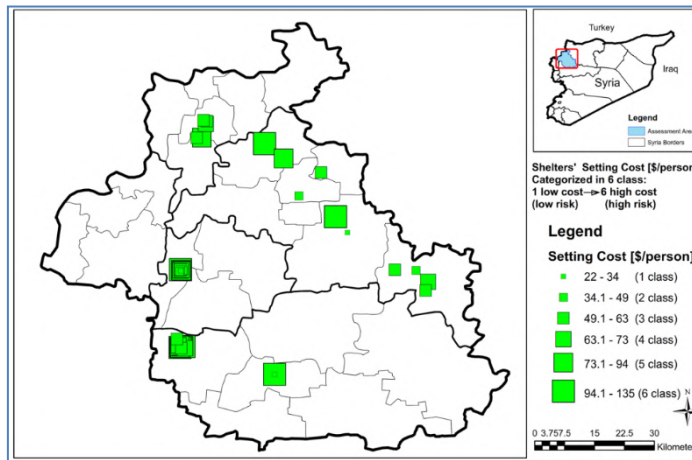


Figure 8. Risk Map: Shelters' Setup Costs

The other risks according to their risk rankings are included in Appendix1: accessibility to food, water, and fuel; proximity to displacement and forced relocation areas; indiscriminate attacks resulting in damage and destruction; away from the areas of theft; proximity to hospitals, proximity to schools, shelters' capacity [persons], proximity to vendors/suppliers; and proximity to main roads that serves the area.

## 4.2. Results

In this section we considered the risk weight in each criterion utilizing the IT2F-AHP as calculated in Table 3. As well, the risk value in each region in the target study area is evaluated and then we utilized the Equation 1 to obtain the final risk value/map in each region. In the final map, all the risk maps are merged and overlapped into a final risk map, as demonstrated in Figure 9.

This map is described as follows:

- Each region is colored according to its risk value from 1.260 (lower risk regions) to 4.654 (higher risk regions)
- As the shelters are located in the final risk map, we projected the shelter coordinates on the final map to acquire the risk value for each shelter which vary from 1.662 (lower risk) to 3.594 (higher risk).
- While there are six risk category areas ranging approximately from 1.1260– 4.6540, the risk value for

each shelter varies from 1.126–3.594. We can observe that there is no shelter located in the highest risk area (darkest red one) and therefore, there are no shelters within the highest risk value.

- Some of the shelters are so adjacent to each other as shown in Figure 9 in groups A, B, and C (distances between them are less than 1 km). We

can observe that the risk values within those located in the same group are approximately similar, because most risk criteria are based on the region features perspective.

- The more criteria we involve the more varied values we obtain. This results in higher variance between the shelters, which facilitates the selection process for the decision makers.

Table 5 defines the risk values of different shelters and the related ranking to facilitate the decision makers. The lower risk value shelters are more favor for the crisis areas since it takes into account the factor considered by affected people such as to be closer to the services like hospitals, schools, main roads and etc. and avoid the dangers of being closer to frontlines, thief areas, being in besieged areas and etc. as well facilitating the works of humanitarian actors implementing such as projects in the conflict areas.



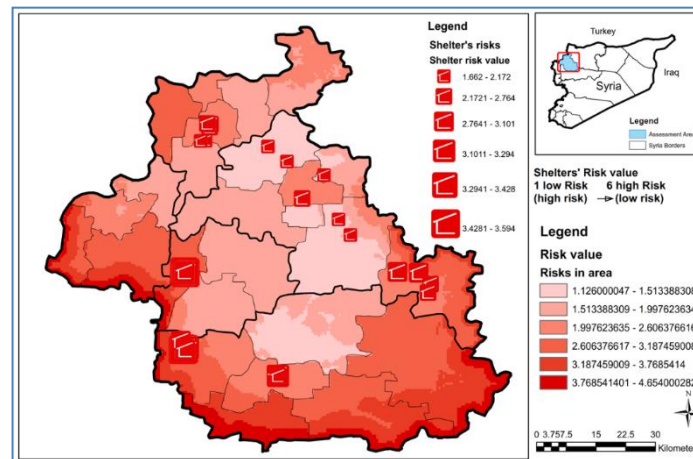


Figure 9. Risk Map: Shelters' Final Risk Value

Table 5. Risk Values and Rankings of Shelters

Shelter No.	Shelter risk value	Shelter ranking	Shelter No.	Shelter risk value	Shelter ranking	Shelter No.	Shelter risk value	Shelter ranking
SH1	3.04	19	SH18	3.38	38	SH35	3.09	21
SH2	3.14	25	SH19	3.22	30	SH36	3.26	33
SH3	3.14	26	SH20	3.18	28	SH37	2.66	12
SH4	2.94	16	SH21	2.74	13	SH38	2.76	14
SH5	3.38	37	SH22	3.29	35	SH39	3.00	17
SH6	3.42	42	SH23	3.50	48	SH40	2.83	15
SH7	3.26	31	SH24	3.28	34	SH41	1.66	1
SH8	3.14	27	SH25	3.51	49	SH42	1.70	2
SH9	3.01	18	SH26	3.49	47	SH43	2.01	6
SH10	3.12	24	SH27	3.59	51	SH44	2.42	10
SH11	3.36	36	SH28	3.39	40	SH45	1.98	5
SH12	3.53	50	SH29	3.09	20	SH46	1.70	3
SH13	3.42	43	SH30	3.40	41	SH47	2.54	11
SH14	3.49	46	SH31	3.10	22	SH48	2.36	8
SH15	3.43	44	SH32	3.19	29	SH49	2.38	9
SH16	3.43	45	SH33	3.38	39	SH50	1.97	4
SH17	3.26	32	SH34	3.10	23	SH51	2.17	7

## 5. Conclusions

In this study, we introduced a new approach that can aid the decision makers in the crisis areas to identify optimal shelter locations by performing the risk scoring of each candidate shelter in terms of the most important factor to the affected people in the target area.

This study mainly included the definition of the most important criteria according to beneficiaries and their representative, experts, and the donors utilizing the Delphi

technique. Then the agreed criteria are prioritized using the F-AHP followed by assessing the risks in all areas according to each agreed criterion and merging all the risk maps into a final

risk map using the weights derived from F-AHP. The final risk value is then obtained for each shelter by extracting the risk value of shelters from the final risk map.

As a result, we ranked all the 51 shelters according to their final risk scores considering the predetermined criteria from the humanitarian perspective in crisis regions. This can enable the decision maker in selecting the shelters effectively.

However, the study demonstrates a number of restrictions. Firstly, the study region is restricted to north of Syria, and locations are assessed with 13 risk criteria from crisis and humanitarian perspectives. Furthermore, the study is restricted in dealing with static/stable situation in the studied area. To address these drawbacks, future studies can incorporate the recommendations below:

- Exclusive of the 13 noted risk criteria, different criterion (such as electricity, water, parks, and social services) could be considered.
- Collecting data on smaller areas (at community level rather than at sub-district level) may provide finer details and produce more accurate values.
- Instead of a static approach, a dynamic one can be proposed to deal with the high-level uncertainty of these kind of questions in crisis regions.
- The study region can be widened to extend the investigation for more extensive results.
- Different risk techniques can be utilized to obtain varied results.

## References

- Abdalla, R., Tao, C. V., Wu, H., & Maqsood, I. (2006). A GIS-supported 3D approach for flood risk assessment of the Qu'Appelle River, Southern Saskatchewan. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 6(4-6), 440-455. <https://doi.org/10.1504/IJRAM.2006.009545>
- Abdalla, R., Elawad, Y., Chen, Z., Han, S. S., & Xia, R. (2014). A GIS-supported fuzzy-set approach for flood risk assessment. *Canadian Water Resources Journal/Revue canadienne des ressources hydriques*, 39(1), 3-14. <https://doi.org/10.1080/07011784.2014.881058>
- Ak, R., Bahrami, M., & Bozkaya, B. (2020). A time-based model and GIS framework for assessing hazardous materials transportation risk in urban areas. *Journal of Transport & Health*, 19, 100943. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2020.100943>
- Al-Awadhi, T., Charabi, Y., Choudri, B. S., & Bani Oraba, Y. (2018). Flooding risk analysis: A case study of Muscat Governorate, Sultanate of Oman. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 24(3), 667-678. <https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1396441>
- Alcorn, R., Panter, K. S., & Gorsevski, P. V. (2013). A GIS-based volcanic hazard and risk assessment of eruptions sourced within Valles Caldera, New Mexico. *Journal of volcanology and geothermal research*, 267, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.09.005>
- Aye, Z. C., Jaboyedoff, M., Derron, M. H., Van Westen, C. J., Hussin, H. Y., Ciurean, R. L., ... & Pasuto, A. (2016). An interactive web-GIS tool for risk analysis: a case study in the Fella River basin, Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(1), 85-101. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-85-2016>
- Benguerai, A., Benabdeli, K., & Harizia, A. (2019). Forest Fire Risk Assessment Model Using Remote Sensing and GIS Techniques in Northwest Algeria. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica: An International Journal in Forest, Wood and Environmental Sciences*, 15(1), 9-21. <https://doi.org/10.2478/aslh-2019-0001>
- Beni, L. H., Villeneuve, S., LeBlanc, D. I., Côté, K., Fazil, A., Otten, A., ... & Delaquis, P. (2012). Spatio-temporal assessment of food safety risks in Canadian food distribution systems using GIS. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*, 3(3), 215-223. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2012.02.009>
- Bilak, A., Caterina, M., Charron, G., Crozet, S., Diaz-Leal, L. R., Foster, F., Ginnetti, J., Giorgi, J., Glatz, A. K., Guyon, K., Howard, C., Kesmaecker-Wissing, M., Kilany, S., Klos, J., Kok, F., Mccallin, B., Pagot, A., Rushing, E., Spurrel, C., Swain, M., Turner, W., Walicki, N., & Yonetani, M. (2015). *Global Overview 2015: People Internally Displaced by Conflict and Violence*. Internal Displacement Monitoring Centre, Norwegian Refugee Council: Geneva.
- Burnley, C., Buda, D., & Kayitakire, F. (2008). Quantitative global model for armed conflict risk assessment. European Commission Joint Research Centre Institute for the Protection and Security of the Citizen Contact. <https://doi.org/10.2788/83693>
- Cai, T., Li, X., Ding, X., Wang, J., & Zhan, J. (2019). Flood risk assessment based on hydrodynamic model and fuzzy comprehensive evaluation with GIS technique. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 35, 101077. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101077>
- Chen, W., Zhai, G., Fan, C., Jin, W., & Xie, Y. (2017). A planning framework based on system theory and GIS for urban emergency shelter system: A case of Guangzhou, China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 23(3), 441-456. <https://doi.org/10.1080/10807039.2016.1185692>
- Chen, W., Zhai, G., Ren, C., Shi, Y., & Zhang, J. (2018). Urban resources selection and allocation for emergency shelters: In a multi-hazard environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(6), 1261. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061261>
- Çankaya, Z. C., Süzen, M. L., Yalçiner, A. C., Kolat, C., Zaytsev, A., & Aytore, B. (2016). A new GIS-based tsunami risk evaluation: MeTHuVA (METU tsunami human vulnerability assessment) at Yenikapı, Istanbul. *Earth, Planets and Space*, 68(1), 133. <https://doi.org/10.1186/s40623-016-0507-0>
- Çeliker, M., Yildiz, O., & Koçer, N. N. (2019). Evaluating solid waste landfill site selection using multi-criteria decision analysis and geographic information systems in the city of Elazığ, Turkey. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25(6), 683-691. <https://doi.org/10.5505/pajes.2018.70493>
- Eccles, K. M., Pauli, B. D., & Chan, H. M. (2019). The Use of Geographic Information Systems for Spatial Ecological Risk Assessments: An Example from the Athabasca Oil Sands Area in Canada. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(12), 2797-2810. <https://doi.org/10.1002/etc.4577>
- Fedeski, M., & Gwilliam, J. (2007). Urban sustainability in the presence of flood and geological hazards: The development of a GIS-based vulnerability and risk assessment methodology. *Landscape and Urban Planning*, 83(1), 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.05.012>
- Gallego, A., Calafat, C., Segura, M., & Quintanilla, I. (2019). Land planning and risk assessment for livestock production based on an outranking approach and GIS. *Land Use Policy*, 83, 606-621. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.10.02>
- Gao, C., Gao, C., Song, K., Ye, Z., & Dong, J. (2019). Regional water ecosystem risk assessment based on GIS and pollutant diffusion model: A case study of Shenzhen eco-industrial park. *Process Safety and Environmental Protection*, 130, 182-189. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.08.004>
- Hadipour, V., Vafaie, F., & Deilami, K. (2020). Coastal Flooding Risk Assessment Using a GIS-Based Spatial Multi-Criteria Decision Analysis Approach. *Water*, 12(9), 2379. <https://doi.org/10.3390/w12092379>
- Hawchar, L., Naughton, O., Nolan, P., Stewart, M. G., & Ryan, P. C. (2020). A GIS-based Framework for High-Level

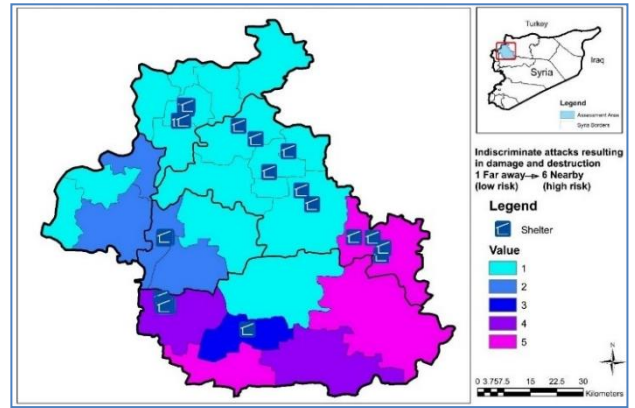
- Climate Change Risk Assessment of Critical Infrastructure. *Climate Risk Management*, 100235. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2020.100235>
- Heudtlass, P., Speybroeck, N., & Guha-Sapir, D. (2016). Excess mortality in refugees, internally displaced persons and resident populations in complex humanitarian emergencies (1998–2012)–insights from operational data. *Conflict and health*, 10(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13031-016-0082-9>
- Huabin, W., Gangjun, L., Weiya, X., & Gonghui, W. (2005). GIS-based landslide hazard assessment: an overview. *Progress in Physical Geography*, 29(4), 548-567. <https://doi.org/10.1191/0309133305pp462ra>
- INEE Toolkit - Welcome. (n.d.). Retrieved March 22, 2020, from <https://toolkit.ineesite.org/>
- Isahak, A., Reza, M. I. H., Siwar, C., Ismail, S. M., Sulaiman, N., Hanafi, Z., Zainuddin, M. S., & Taha, M. R. (2018). Delineating risk zones and evaluation of shelter centres for flood disaster management along the Pahang River Basin, Malaysia. *Jambá: Journal of Disaster Risk Studies*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.4102/jamba.v10i1.501>
- Kahraman, C., Öztayşi, B., Sari, İ. U., & Turanoğlu, E. (2014). Fuzzy Analytic Hierarchy Process with Interval Type-2 Fuzzy Sets. *Knowledge-Based Systems*, 59, 48-57. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2014.02.001>
- Karimi, H., Amiri, S., Huang, J., & Karimi, A. (2019). Integrating GIS and multi-criteria decision analysis for landfill site selection, case study: Javanrood County in Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 7305. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2151-7>
- Lyu, H. M., Sun, W. J., Shen, S. L., & Arulrajah, A. (2018). Flood risk assessment in metro systems of mega-cities using a GIS-based modeling approach. *Science of the Total Environment*, 626, 1012- 1025. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.138>
- Mock, N. B., Duale, S., Brown, L. F., Mathys, E., O'Maonaigh, H. C., Abul-Husn, N. K. L., & Elliott, S. (2004). Conflict and HIV: A framework for risk assessment to prevent HIV in conflict-affected settings in Africa. *Emerging Themes in Epidemiology*, 1, 1–16. <https://doi.org/10.1186/1742-7622-1-6>
- Öztayşi, B. (2015). A group decision making approach using interval type-2 fuzzy AHP for enterprise information systems project selection. *Multiple-Valued Logic and Soft Computing* 24: 475-500.
- Pence, J., Miller, I., Sakurahara, T., Whitacre, J., Reihani, S., Kee, E., & Mohaghegh, Z. (2019). GIS-Based Integration of Social Vulnerability and Level 3 Probabilistic Risk Assessment to Advance Emergency Preparedness, Planning, and Response for Severe Nuclear Power Plant Accidents. *Risk Analysis*, 39(6), 1262–1280. <https://doi.org/10.1111/risa.13241>
- Psomiadis, E., Charizopoulos, N., Efthimiou, N., Soulis, K. X., & Charalampopoulos, I. (2020). Earth Observation and GIS-Based Analysis for Landslide Susceptibility and Risk Assessment. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(9), 552. <https://doi.org/10.3390/ijgi9090552>
- Repetto, M. P., Burlando, M., Solari, G., De Gaetano, P., Pizzo, M., & Tizzi, M. (2018). A web-based GIS platform for the safe management and risk assessment of complex structural and infrastructural systems exposed to wind. *Advances in Engineering Software*, 117, 29-45. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.03.002>
- Rincón, D., Khan, U. T., & Armenakis, C. (2018). Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: A greater Toronto area case study. *Geosciences (Switzerland)*, 8, 275. <https://doi.org/10.3390/geosciences8080275>
- Sahoo, B., & Bhaskaran, P. K. (2018). Multi-hazard risk assessment of coastal vulnerability from tropical cyclones– A GIS based approach for the Odisha coast. *Journal of Environmental Management*, 206, 1166-1178. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.075>
- Sarkar, S., Parihar, S. M., & Dutta, A. (2016). Fuzzy risk assessment modelling of East Kolkata Wetland Area: A remote sensing and GIS based approach. *Environmental Modelling & Software*, 75, 105- 118. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.10.003>
- Shalyari, N., Alinejad, A., Hashemi, A. H. G., RadFard, M., & Dehghani, M. (2019). Health risk assessment of nitrate in groundwater resources of Iranshahr using Monte Carlo simulation and geographic information system (GIS). *MethodsX*, 6, 1812-1821. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.07.024>
- Skilodimou, H. D., Bathrellos, G. D., Chousianitis, K., Youssef, A. M., & Pradhan, B. (2019). Multi-hazard assessment modeling via multi-criteria analysis and GIS: a case study. *Environmental Earth Sciences*, 78(2), 47. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-8003-4>
- Şentürk, E., & Erener, A. (2017). Determination of temporary shelter areas in natural disasters by gis: A case study, Gölcük/Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(3), 84-90. <https://doi.org/10.26833/ijeg.317314>
- Török, Z., Petrescu-Mag, R. M., Mereuță, A., Maloş, C. V., Arghiuş, V. I., & Ozunu, A. (2020). Analysis of territorial compatibility for Seveso-type sites using different risk assessment methods and GIS technique. *Land Use Policy*, 95, 103878. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.037>
- Uddin, K., Raj, Gurung D., Giriraj, A., & Shrestha, B. (2013). Application of remote sensing and GIS for flood hazard management: A case study from Sindh Province, Pakistan. *American Journal of Geographic Information System*, 1, 1–5.
- UNHCR (2019) UNHCR - Internally Displaced People. Retrieved March 22, 2020, from <https://www.unhcr.org/pages/49c3646c146.html>
- Wang, Y., Li, Z., Tang, Z., & Zeng, G. (2011). A GIS-based spatial multi-criteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. *Water Resources Management*, 25(13), 3465-3484. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9866-2>
- Yariyan, P., Zabihi, H., Wolf, I. D., Karami, M., & Amirian, S. (2020). Earthquake risk assessment using an integrated Fuzzy Analytic Hierarchy Process with Artificial Neural Networks based on GIS: A case study of Sanandaj in Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50, 101705. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101705>
- Yu, J. H., & Lee, S. K. (2012). A conflict-risk assessment model for urban regeneration projects using Fuzzy-FMEA. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16(7), 1093–1103. <https://doi.org/10.1007/s12205-012-1196-2>
- Zhang, J., Zhai, Y., Xue, P., Huan, H., Zhao, X., Teng, Y., & Wang, J. (2017). A GIS-based LVF model for semiquantitative assessment of groundwater pollution risk: A case study in Shenyang, NE China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*,



Zhang, W., Wu, J., & Yun, Y. (2019). Strategies for increasing tsunami shelter accessibility to enhance hazard risk adaptive capacity in coastal port cities: A study of Nagoya city, Japan. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(4), 927–940. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-927-2019>

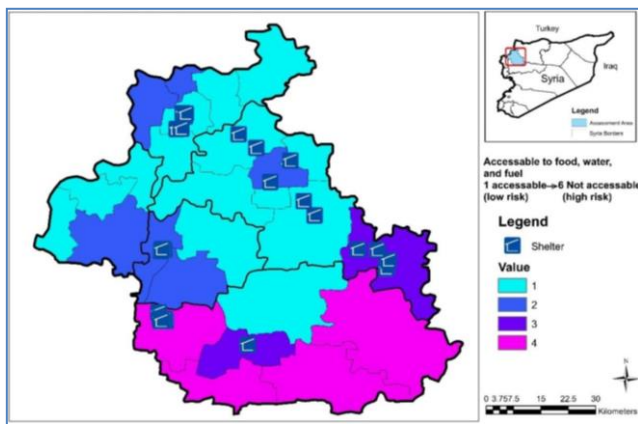
Zhang, D., Shi, X., Xu, H., Jing, Q., Pan, X., Liu, T., ... & Hou, H. (2020). A GIS-based spatial multi-index model for flood risk assessment in the Yangtze River Basin, China. *Environmental Impact Assessment Review*, 83, 106397. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106397>

Zhao, M., & Liu, X. (2016). Regional risk assessment for urban major hazards based on GIS geoprocessing to improve public safety. *Safety Science*, 87, 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.016>

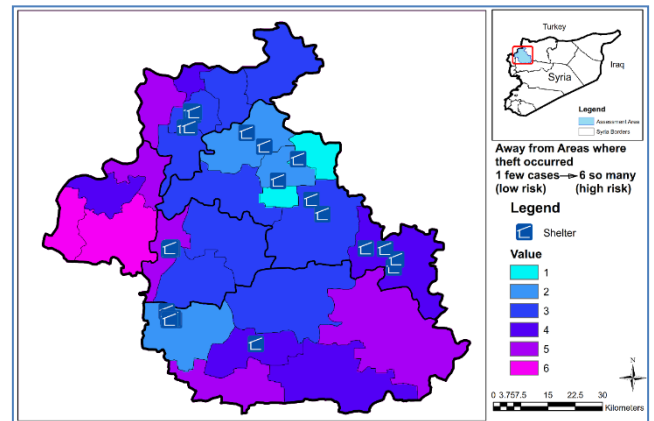


Risk map – indiscriminate attacks resulting in damage and destruction

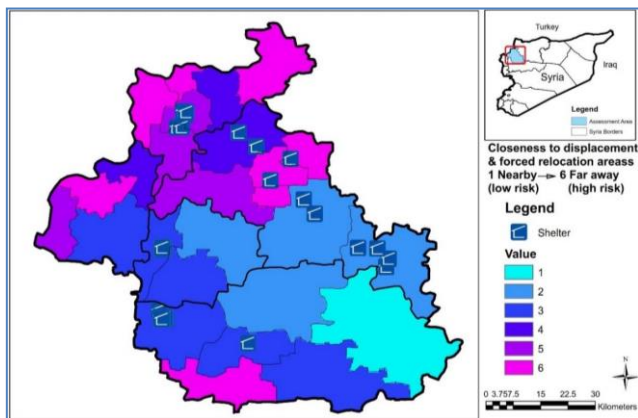
**Appendix: Lower Prioritized Risk Maps**



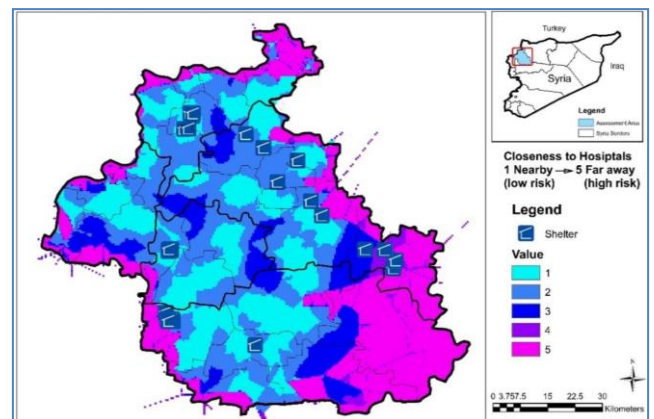
Risk map – accessibility to food, water, and fuel



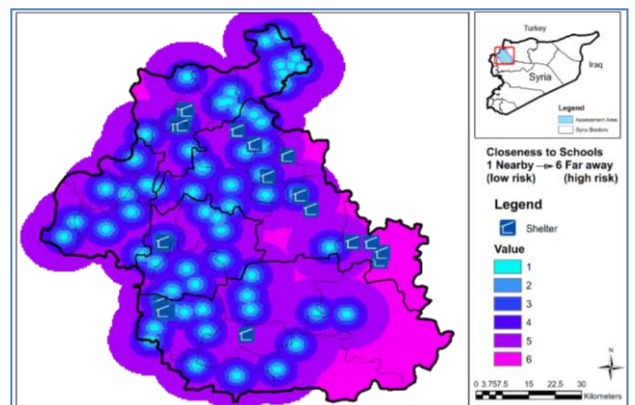
Risk map – away from areas of theft



Risk map – proximity to displacement and forced relocation areas

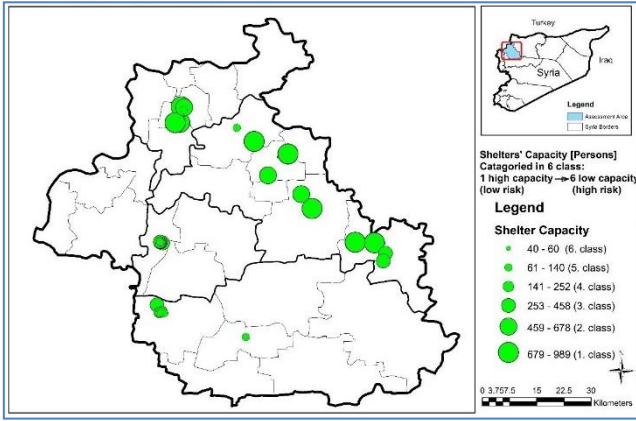


Risk map – proximity to hospitals

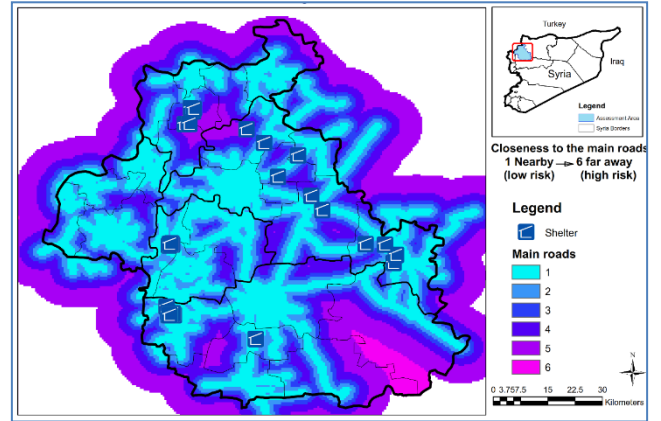


Risk map – proximity to schools

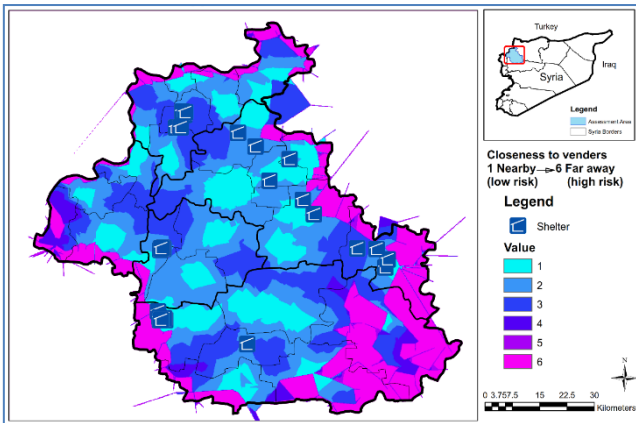




Risk map – shelters' capacity [persons]



Risk map – proximity to main roads



Risk map – proximity to vendors/suppliers



# Drain Mast Komponentinin Tahribatsız Muayene Yöntemleri Kullanılarak Test Edilmesi

Cevahir Tarhan<sup>1</sup>, Berces Kurt<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde ve Motor Bakımı Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4762-6719), [ctarhan@erciyes.edu.tr](mailto:ctarhan@erciyes.edu.tr)

<sup>2\*</sup>Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde ve Motor Bakımı Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1285-0542), [brcs\\_krt@hotmail.com](mailto:brcs_krt@hotmail.com)

(İlk Geliş Tarihi: 08 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi: 25 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.934787)

**ATIF/REFERENCE:** Tarhan, C. & Kurt, B. (2021). Drain Mast Komponentinin Tahribatsız Muayene Yöntemleri Kullanılarak Test Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 852-860.

## Öz

Uçaklar servise verildikten sonra, farklı çalışma koşullarına ve birçok gerilime maruz kalır. Bu nedenle uçaklarda kullanılması için mukavemeti yüksek ve esneyebilen malzemeler seçilir. Ayrıca malzemelerin yüksek çekme ve basma dayanımı, korozyon direnci gibi özellikleri de göz önünde bulundurulur. Bir uçağın bakımı, uçağın üretim sürecinden itibaren başlar ve uçağın kullanıldığı son tarihe kadar yapılır. Bu bakımların amacı uçağın ve uçak komponentlerinin yapısal ve fonksiyonel performanslarını ilk günkü gibi korumaktır. Uçağın ve uçak komponentlerinin düzenli bakımları yapılmalıdır. Halihazırda kullanılan tahribatlı testler ile çok küçük çatlaklar tespit edilememektedir. Ayrıca bu yöntemler malzeme yapısına zarar verebilir. Bu olumsuzlukların üstesinden gelebilmek için tahribatsız muayene yöntemleri kullanılmaktadır. Tahribatsız muayene bilimi, malzeme kontrollerinin öncesinde ve sonrasında farklı teknik işlemler kullanılarak gerçekleştirilen çalışma alanıdır. Tahribatsız muayene medikal, polimer sektörü, havacılık alanı gibi geniş alanlarda kullanılmaktadır. Bu yöntemler sayesinde, sistemlerin ve malzemelerin özellikleri etkilenmeden kontrolleri yapılabilmektedir. Ayrıca tahribatsız muayeneler ile uçak bakımında darbe hasarı tespit edilebilir ve onarım veya sadece hata izleme şeklinde kararlar alınabilir. Bu çalışmada bir uçak komponentinin sıvı penetrant, gözle kontrol (boroskop, büyüteç, fener, ayna, komparatör vb.) ve ultrasonik kontrol yöntemleri ile kontrolleri yapıldı. Bu yöntemler kullanılarak test numunesinin üzerindeki hata ve kusurlar tespit edildi. Bu testler yapılırken ele alınan uçak komponentinin zarar görmemesi ve doğru sonuçlar elde edilebilmesi için en uygun muayene yöntemi belirlendi ve ilgili yöntemlerin kullanım açısından mukayesesi yapıldı.

**Anahtar Kelimeler:** Tahribatsız muayene, Hava-Uzay araçları tasarımı ve malzemesi, Kompozit malzemeler, Ölçme Tekniği, Ultrasonik kontrol.

## Testing of Drain Mast Component Using Non-Destructive Testing Methods

### Abstract

After the aircraft are put into service, they are subjected to different operating conditions and many stresses. For this reason, materials with high strength and flexibility are selected for use in airplanes. In addition, the properties of the materials such as high tensile and compression strength, corrosion resistance are also taken into consideration. Maintenance of an aircraft starts from the production process of the aircraft and is done until the last date the aircraft is used. The purpose of these maintenance is to preserve the structural and functional performance of the aircraft and aircraft components as on the first day. Regular maintenance of the aircraft and aircraft components should be carried out. Very small cracks cannot be detected with the destructive tests currently used. In addition, these methods can damage the material structure. Non-destructive testing methods are used to overcome these negativities. Non-destructive testing science is a field of study performed using different technical processes before and after material controls. Non-destructive testing is used in wide areas such as medical, polymer industry, aviation field. Thanks to these methods, controls can be made without affecting the properties of systems and materials. In addition, with non-destructive inspections, impact damage can be detected in aircraft maintenance and decisions can be made in the form of repair or just defect tracking. In this study, an aircraft component was controlled by liquid penetrant, visual inspection (borescope, magnifier, flashlight, mirror, comparator etc.) and ultrasonic control methods. Using these methods, defects on the test sample were detected. While performing these tests, the most appropriate inspection method was determined in order not to damage the aircraft component and to obtain accurate results, and the related methods were compared in terms of usage.

**Keywords:** Non-destructive testing, Air-Spacecraft design and material, Composite materials, Measurement technique, Ultrasonic control.

\* Sorumlu Yazar: [brcs\\_krt@hotmail.com](mailto:brcs_krt@hotmail.com)

## 1. Giriş

Tahribatlı test yöntemlerinde, malzemelere eğilme, çekme, burkulma, kesme gibi kuvvetler uygulandığından dolayı, test edilecek malzemeler zarar görebilir (Başyigit ve ark., 2013). Bu tür testlerden dolayı malzeme işlevselliğini kaybedebilir (Türker ve ark., 2011). Bu yüzden malzemelerin testi yapılırken tahribatlı muayene yöntemleri yerine tahribatsız muayene yöntemleri tercih edilmektedir. Tahribatsız muayene yöntemleri sayesinde, test edilecek malzemelerin hasar görmeden veya test edilecek malzemelerin yapısını değiştirmeden, malzemelerin yüzeyindeki ve iç yapısındaki hasarlar veya süreksizlikler tespit edilebilmektedir (Dwivedi et al., 2018; Ülgen ve Baba, 2020; Gholizadeh, 2016). Tahribatsız muayene medikal, polimer sektörü, havacılık alanı gibi geniş alanlarda kullanılmaktadır (Towsyfyhan et al., 2020). Bu yöntemler özellikle havacılık alanında çok fazla kullanılmaktadır. Çünkü tahribatsız muayene yöntemleri, uçak yapıları için 'Uçuşa elverişlilik' gereksinimlerinin uygunluğunu izlemek için kullanılabilir en uygun denetim ve değerlendirme imkanı sunar (Mahoon, 1988; Towsyfyhan et al., 2020). Özellikle uçak malzemelerinin ve komponentlerinin sürekli gerilim yüklerine maruz kalmasıyla, bu muayene tekniklerinin önemi daha da artmaktadır (Diamanti ve Soutis, 2010; Gärtner et al., 2002). Tahribatsız muayene yöntemi, algılama ve nüfuziyet fonksiyonlarına dayanmaktadır (Seçim, 2011). Bu fonksiyonlardan, algılama fonksiyonu nüfuz ediciden aldığı bilgileri testi yapan kişinin anlayabileceği hale dönüştürür. Nüfuziyet işlevi ise nüfuz edici elemanın giriciliğini ve malzemelerdeki kusurları algılama elemanına gönderir (Seçim, 2011). Tahribatsız muayene yöntemleri, yüzeysel ve hacimsel olarak ikiye ayrılır. Ultrasonik ve radyografik kontrol yöntemleri hacimsel ve gözle kontrol, sıvı penetrant, girdap akımları ve manyetik parçacık kontrolü yöntemleri ise yüzeysel yöntemlerdir. Yüzeysel yöntemlerde malzemenin tamamına nüfuz edilemez, sadece malzemenin yüzeyinde ve yüzeye yakın bölgelerindeki süreksizlikler tespit edilebilir (Kayrak, 2012). Hacimsel yöntemlerde ise malzemenin tamamına nüfuz edilir ve malzemenin içindeki süreksizlikler de tespit edilebilir (Kayrak, 2012).

Tahribatsız muayene teknikleri hakkında literatürde oldukça fazla makale bulunmaktadır (Dwivedi et al., 2018; Ülgen ve Baba, 2020; Gholizadeh, 2016; Towsyfyhan et al., 2020; Seçim, 2011; Kayrak, 2012). Ancak yapılan bu incelemelerde, genellikle tek bir tahribatsız muayene tekniği değerlendirilmektedir. Ayrıca tahribatsız muayene teknikleri ile ilgili literatürde bulunan makalelerde, tahribatsız muayene yöntemlerinin kendi içinde kıyaslanmalarının olmaması, bu alanda daha çok çalışmaların yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda, bu çalışmada, bir uçak komponenti üzerinde çeşitli tahribatsız muayene teknikleri kullanıldı. Kullanılan bu yöntemlerin, hem kendi içerisinde hem de ayrı ayrı değerlendirilmeleri yapıldı. Ayrıca bu tekniklerin avantajları ve dezavantajları belirlendi. Bu inceleme sayesinde, kullanılan tahribatsız muayene teknikleri arasında, malzemelerde bulunan kusurların tespit edilebilmesinde kullanılabilir en uygun muayene yönteminin belirlenebilmesi amaçlanmıştır.

Tahribatsız muayene yöntemlerinden, en önemlisi görsel inceleme yöntemidir. Çünkü bütün tahribatsız muayene tekniklerinde, görsel inceleme de gerçekleştirilmektedir. Melloy ve ark. (2000) çalışmalarında, görsel incelemenin uçaklarda yapılan testlerin %90'ını oluşturduğunu belirtmişlerdir. Bossi ve

Giurgiutiu (2015) çalışmalarında, gözle muayene yönteminin uçakların farklı kompozit yapıları için en önemli inceleme yöntemi olduğunu belirtmişlerdir. Goranson (1983), çalışmasında, 1983 yılında büyük nakliye uçaklarında yapılan muayenelerin %80'inden fazlasının görsel yöntemlere dayandığını belirtmektedir. Drury ve Watson (2002) ise 2002 yılında büyük nakliye uçaklarında yapılan muayenelerin, %54'ünün görsel muayene ile yapıldığını belirtmişlerdir. Uçaklarda yapılan görsel muayenenin önemi oldukça büyüktür çünkü uçaktaki kusur ve süreksizliklerin ilk tespiti görsel muayene ile yapılmaktadır. Uçak komponentleri üzerindeki çatlaklar, korozyon, gevşek bağlantı elemanları, aşınma, eksik parçalar, hatalar, süreksizlikler, pullanma, delemantasyon gibi kusurlar gözle tespit edilebilmektedir. Aynı zamanda görsel inceleme ile birleştirilmiş yapılarda ve bileşenlerdeki kusurlar bulunabilir. Ayrıca görsel inceleme, çatlakları veya yüzey çöküntülerini bulmanın en hızlı ve en ucuz yöntemi olarak kabul edilir (Fotouhi et al., 2021). Ancak görsel muayene yönteminin güvenilirliğini ve doğruluğunu etkileyen, incelenecek bölgedeki aydınlatma, kontrol süresi, testi yapan kişinin yorgunluğu ve deneyimi ve çevresel koşullar gibi faktörler vardır (Kujawińska ve Vogt, 2015; See, 2015). Eğer malzemenin iç yapısında bir kusur varsa, bu kusurun görsel inceleme ile tespit edilmesi olanaksızdır ve sınırlı erişime sahip bölgelerde görsel incelemenin yanlış yorumlanması da söz konusudur (Emerson et al., 1998). Bu yüzden görsel inceleme için yeni nesil teknolojilerden de yararlanılmaktadır. Novák ve ark. (2020) çalışmalarında, insansız hava araçlarının uçak bakım prosesinde görsel muayene için kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Matzkanin (2006) çalışmasında görsel inceleme ile yardımcı optik aletlerin de kullanıldığını da belirtmiştir. Çünkü sağlıklı bir insan gözünün ayırt edebileceği minimum kusur boyutu yaklaşık 0,25 inch olduğundan dolayı, bu limitin altındaki kusurlar çıplak gözle tespit edilememektedir. Ayrıca Papa ve Ponte (2018) çalışmalarında, geleneksel uçak muayene işlemleri ile uçakların görsel muayenesi, yapıldığında, çok zaman kaybedilebileceğini ve bunun yerine, görsel muayene yapılırken gelişmiş teknoloji yöntemlerinin (drone tabanlı uçak görsel muayene) kullanılmasıyla muayene sürelerinin azaltılabileceğini belirtmişlerdir.

Görsel inceleme, bütün tahribatsız muayene yöntemlerinden önce gerçekleştirilmesi gereken bir çalışmadır. Bu yöntem, hemen hemen bütün malzemelerin kontrol edilmesinde kullanılabilir (Gönül ve Bayraktaroğlu, 2015). Gözle kontrol işlemine başlamadan önce kontrol edilecek yüzeyler, uygun bir solvent ile mutlaka temizlenmelidir ve kontrol edilecek yüzeylerin gözle ulaşılabilir olması, iyi aydınlatılmış olması gereklidir. Görsel muayene yönteminde en çok kullanılan yardımcı elemanlar 'Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Görsel muayene yönteminde kullanılan yardımcı elemanlar. ( a : Ayna, b: Komparatör, c: Büyüteç, d: Fener, e: Boroskop)

Tahribatsız muayene yöntemlerinden olan sıvı penetrant muayenesi de gözle muayene yöntemi gibi yüzeysel hata ve süreksizliklerin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Ancak sıvı penetrant muayene yöntemi ile malzemelerin iç yapısındaki kusurları tespit edilememektedir (Kılıç, 2019). Parida (2009) çalışmasında, penetrant muayenesinin temel prensibinin, yüzey gerilimi ve kılcal hareketin birleşik etkisiyle incelenecek temiz bir yüzeye penetrant uygulanıp, bir geliştirici tozunun etkisiyle ortaya çıkan kusurun içine sızması olduğunu belirtmiştir. Penetrant sıvı kontrolünde penetrant ve test parça ısısı 16°C–52°C limitleri arasında olmalıdır (Kafalı, 2004). Bu muayene yönteminin etkinliği, kullanılan materyallerin boyutuna, parlaklığına ve kontrastına bağlıdır (Kalinichenko et al., 2019; Omelić ve Hrman, 2006). Bu yöntemin avantajlarından biri, diğer yöntemlere göre daha düşük maliyetli olmasıdır. Sıvı penetrant muayenesi metaller, cam, plastikler ve yanmış seramikler gibi gözeneksiz ve oldukça pürüzsüz malzemelerde hataların ve süreksizliklerin tespit edilmesi için başarıyla kullanılabilir (Taheri et al., 2019). Sıvı penetrant yönteminde, yüzeyin pürüzsüz olması büyük önem arz etmektedir. Eğer malzeme yüzeyi pürüzlü ise sıvı penetrantın uygulanması oldukça zorlaşır ve hatalı sonuçlar almamıza neden olur (Migoun ve Delenkovsky, 2008). Bu hatalı sonuçlar, yüzey pürüzlülüğüne sahip bir test yüzeyinden penetrant çıkarıldıktan sonra, penetrantın bazı kalıntı parçalarının yüzey mikro kusurlarının içinde kalması ve rahatsız edici bir arka plan oluşturması olgusundan kaynaklanır (Migoun ve Delenkovsky, 2008). Bu yöntemde öncelikle test edilecek malzemenin yüzeyi, uygun bir solvent ile temizlenir. Temizleme işlemi bittikten sonra malzemenin üzerine sıvı penetrant uygulanır. Sıvı penetrant uygulandıktan sonra belli bir süre (5-30 dakika) beklenir. Bu bekleme süresi içinde, penetrant malzeme üzerindeki çatlaklara nüfuz eder. Bu bekleme süresinden sonra uygun bir şekilde, malzeme üzerindeki fazla penetrant temizlenir. Temizleme işlemi yapılırken, malzemedeki çukurlara nüfuz eden penetrantın kaldırılmamasına dikkat edilir. Malzeme üzerindeki fazla penetrant uzaklaştırıldıktan sonra, malzeme üzerine bir geliştirici (spray) püskürtülür. Geliştiricinin

uygulanmasından sonra da bir süre beklemek gerekmektedir. Bu bekleme süresinden sonra da malzeme üzerine püskürtülen developer beyaz bir tabaka oluşturur ve malzemenin çatlak bölgelerine nüfuz eden penetrant yüzeye çıkar. Böylece malzeme yüzeyindeki hata ve süreksizlikler kırmızı bir renkte görülmeye başlar (Manikandan et al., 2020) Bu işlemlerden sonra da test edilen malzemenin görsel kontrolü yapılır ve elde edilen bulgular not edilir (Suhaila et al., 2014). Sıvı penetrant yönteminde kullanılan malzemeler ‘Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Sıvı penetrant yönteminde kullanılan malzemeler.

Sıvı penetrant yöntemi uçak komponentleri ve malzemeleri üzerinde de oldukça etkilidir. Guirong ve ark. (2015) çalışmalarında, sıvı penetrant testinin helikopter ve uçak bileşenleri için etkili bir tahribatsız muayene yöntemi olduğunu belirtmişlerdir. Taşınabilir penetrant malzemeler, fırça veya silme uygulaması için küçük kaplarda 'Aerosol sprey kutularında' mevcuttur (Stancu ve ark., 2011). Bu aerosol kutu ile uçağın yapısına monte edilmiş parçalar üzerinde penetrant testi yapılabilmektedir (Stancu ve ark., 2011). Sezgin ve ark. (2017), çalışmalarında uçakların üretiminde ve bakımında yüksek güvenilirlik sağlamak için yaygın olarak sıvı penetrant testinin kullanıldığını ve bu yöntemin, esneklik ve kullanım kolaylığı gibi avantajlara sahip olduğunu belirtmişlerdir. Duarte ve ark. (2016) çalışmalarında, 'Portekiz Hava Kuvvetleri'nde tahribatsız yöntemler ile arıza analizinin uçuş güvenliğine nasıl katkıda bulunduğu dair araştırma yapmışlardır. Bu araştırmada, filodaki 6 uçağın tamamını floresan sıvı penetrant muayene yöntemi ile incelenmişler ve 24 esnek noktanın tamamında 70 mm uzunluğa ulaşan çatlaklar olduğunu tespit etmişlerdir.

Girdap akımları ile muayene yöntemi, Faraday 'ın elektromanyetik indüksiyonu keşfetmesiyle başlamıştır. 1879 yılında, bir bobinin farklı iletkenlik ve geçirgenlik değerlerine sahip metallerle temas ettiğinde, özelliklerinde değişiklikler olduğunu tespit edilmiştir (Chauveau, 2018). 1950 yılından itibaren, özellikle uçak ve nükleer endüstrilerinde girdap akımları ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Elektrik iletkenlik özelliğine sahip malzemelerde, zamanla değişen bir manyetik alan tarafından indüklenen akımlar girdap akımları olarak adlandırılır. Bu akımlar, fren sistemlerinde, enerjinin dağıtılması için ve dönen şaftların yavaşlatılması için veya ısı kaynağı olarak kullanılabilir (Aoukili ve Khamlichi, 2018). Ama transformatörlerde ve elektrik motorlarında kullanıldığında,



enerji kaybına yol açmaktadırlar. Bu yöntem ile malzemelerdeki hata ve süreksizliklerin tahribatsız muayenesini de yapılabilmektedir (Aoukili ve Khamlichi, 2018). Bu tahribatsız muayene yönteminin çalışma prensibi, bir kaynak yardımı ile oluşturulan değişken manyetik alanın, test numunesinin yüzeyinde ve yüzeyine yakın olan kısımlarında girdap akımlarının endüklemesine dayanmaktadır (Durmuş ve Baygut, 2018). Eğer test edilen malzeme üzerinde herhangi bir süreksizlik veya hata varsa oluşan girdap akımları farklı bir yörünge izleyeceklerdir. Bu sayede, malzeme yüzeyindeki hata ve süreksizlikler belirlenmiş olur (Durmuş ve Baygut, 2018). Bu yöntemin aşamaları, sinyal oluşturma, test numunesi ile etkileşim, sinyal algılama, sinyalin işlenmesi ve sinyalin yansıtılması adımlarından oluşmaktadır. Girdap akımları kontrolünde, malzeme ile temas edilmesine ve malzeme yüzeyinin temizlenmesine gerek yoktur. Girdap akımları testi yüksek sıcaklık (~1100°C ) uygulamalarında kullanılabilir olmasından dolayı, uçak endüstrisinde, parçanın sertliğini ve gerilme mukavemetini ölçmek için ısıtılmış alüminyum bileşenlerin iletkenliğini ölçmek için kullanılabilir (Günay, 2018). Bu sayede, ölçümler ısıtılmış işlem sırasında alınabilir ve proses hakkında daha fazla bilgi elde edilebilir. Ayrıca bu yöntem sayesinde malzemede bulunan korozyon, çatlak gibi kusurlar bulunabilirken, aynı zamanda iletken malzemelerde iletkenlik değerleri ve kaplamaların kalınlıkları ölçülebilmektedir (Gül, 2019). Girdap akımları yöntemi, sıvı penetrant, ultrasonik ve manyetik parçacık yöntemlerine göre daha hızlı değerlendirme imkanı sağlamaktadır. Ama girdap akımları ile muayene yönteminin bazı kısıtlamaları vardır. Bu yöntem, sadece elektrik iletkenliğine sahip malzemelerde kullanılabilir ve çok yüksek hassasiyet gerektirmektedir. Ayrıca bu yöntem ile malzemenin iç yapısı kontrol edilememektedir (Lu ve Wong, 2017). Girdap akımı yöntemi ile muayene, 6 mm'den daha ince iletken parçaları yeterli hassasiyetle incelemek için kullanılabilir (Ippolito et al., 1995). Girdap akımı yöntemi, sadece elektrik iletkenliğine sahip malzemeler üzerinde kullanılabilir için, biyomalzemeler, polimerik ve seramik malzemelerden imal edilen parçalarda kullanılamamaktadır. Girdap akımları yönteminin, katmanlı olarak üretilen bileşenlerde de olumlu sonuçlar vermesi beklenmektedir. Ancak katmanlı parçalar üzerindeki girdap akımı testinin etkinliği ve doğruluğu, parçanın yüzey kalitesi ve pürüzlülüğü girdap akımının akışında istenmeyen bozulmaya neden olacağından azalabilir. Katmanlı parçalar 1,6–25 µm aralığında yüzey pürüzlülüğüne sahipken, kalıp döküm ile üretilen parçalar 3,2 ve 6,4 µm ve sıcak dövme ile üretilen parçalar 6,4 ve 13 µm değerlerine sahiptir (Ippolito et al., 1995). Katmanlı parçalarda daha doğru sonuçlar alınabilmesi için girdap akımları yöntemi, diğer yöntemlerle beraber kullanılabilir (Grimm et al., 2015).

Ultrasonik kontrol yöntemi, endüstriyel malzemelerin ve komponentlerin test edilmesinde kullanılan en iyi tahribatsız muayene yöntemlerinden biridir (Fathi-Haftshejani ve Honarvar, 2019; Habibpour-Ledari ve Honarvar, 2018; Shakibi et al., 2012). Çoğu tahribatsız muayene yönteminde, test edilecek malzemenin kalınlığı sınırlayıcı bir faktördür. Ancak ultrasonik kontrol tekniği ile birkaç metre derinde bulunan kusurlar bile tespit edilebilmektedir (Cerniglia et al., 2015). Ultrasonik kontrol yöntemi, diğer tahribatsız muayene yöntemlerine göre daha fazla önem arz etmektedir. Çünkü ultrasonik kontrol yönteminin, güçlü penetrasyon, yüksek hassasiyet ve insan vücuduna zarar vermemesi gibi avantajları vardır (Ma et al., 2002). Ayrıca ultrasonik muayene yöntemi ile hem metal hem de

metal olmayan malzemelerin kontrolü yapılabilmektedir (Nesvijski, 2000; Prassianakis ve Prassianakis, 2004). Ultrasonik kontrol yöntemi havacılık, kimya, fizik, tıp, uzaklık ölçme gibi alanlarda kullanılmaktadır. Havacılık alanında metal ve kompozit parçalardaki kusurların tespit edilebilmesi için kullanılmaktadır (Öktem, 2002). Mouritz ve ark. (2000) çalışmalarında, uçak yapılarında kullanılan karbon fiber takviyeli epoksi kompozitlerde yorgunluk hasarını tespit etmek için ultrasonik kontrolünün yapıldığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada A- tarama kayıtlarını incelediklerinde, malzemelerdeki eğilme ve kopma hasarlarını tespit etmişlerdir. Zorbacı (2011) çalışmasında, uçak kanat yapıları üzerindeki korozyonun tespit edilmesinde ultrasonik muayene yönteminin kullanıldığını belirtmiştir. Bu muayene sonucunda kanat yapılarında, gerilimli korozyon, çatlak korozyonu ve pullanma korozyonu tespit edilmiştir.

Hacimsel tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan ultrasonik kontrol yönteminde, periyot, frekans, dalga boyu gibi temel kavramlar vardır. Periyot, parçacığın hareketinin bir tam devrini tamamlaması için geçen süredir ve birimi süredir. Periyot değeri, 'T' ile gösterilir (Jewett ve Serway, 2008). Frekans ise parçacığın birim zamanda yaptığı salınım sayısını ifade eder. Frekansın birimi 'Hertz 'dir ve 'F' ile gösterilir (Jewett ve Serway, 2008). Dalga boyu ise aynı titreşim fazında bulunan komşu iki parçacık arasındaki mesafedir ve dalganın frekansına ve ilerleme hızına bağlıdır (Jewett ve Serway, 2008). Bu yöntem ile malzemelerin iç yapısındaki hata ve süreksizlikler tespit edilebilmektedir (Akay ve ark., 2013). Ultrasonik muayene yöntemi, yüksek frekanslı ses dalgalarıyla yapılan bir yöntemdir ve frekansı 20 kHz 'den daha yüksek olan ses dalgaları, ultrasonik dalgalar olarak adlandırılır (Schmerr, 2016). Metallerin ultrasonik muayenesinde, genellikle 50 MHz'e kadar olan frekanslar kullanılabilmesine rağmen, 0,1-10 MHz arasında değişen frekanslara sahip kısa darbe dalgaları kullanılmaktadır (Schmerr, 2016). Ultrasonik dalgalar homojen olarak yansıtılmadığı için, iletilen ve yansıtılan enerjilerin değerlendirilmesi malzemenin bütünlüğü ile ilişkilendirmek için kullanılabilir (Schmerr, 2016). Ultrasonik kontrol yöntemi, arıza tespitinde, boyutsal ölçümlerde ve malzemelerin karakterizasyonu belirlemede kullanılabilir. Bu test yönteminde, bir prop ve bir ultrasonik test cihazı kullanılır. Ultrasonik test için prop seçimi, test numunesinin kalınlığına uygun frekans değerinde olmalıdır. Prob tarafından iletilen ses dalgaları, test numunesine iletilir. Eğer test edilen materyalin iç yapısında bir süreksizlik veya hata tespit edilirse, ses dalgaları bu kusurların bulunduğu kısımdan geri yansır (Garcia ve Gomez, 2020). Yansıyan bu ses dalgası sinyali, prob tarafından elektrik sinyaline dönüştürülür (Garcia ve Gomez, 2020). Ultrasonik testte kullanılan cihazın gösterge alanında, bu kusurların yeri ve boyutu görünür (Okan ve ark 2017). Ultrasonik muayene yöntemi ile girdap akımları yöntemi birlikte kullanılabilir (Yılmaz, 2014).

Manyetik parçacık ile yapılan tahribatsız muayene yönteminde test edilecek numunenin derinlemesine yüzey hazırlığına gerek yoktur ve bu yöntemin uygulanışı oldukça hızlıdır (Yağcı ve ark., 2018). Bu yöntem ile malzemelerin muayenesi yapılırken, manyetik partiküllerden ve manyetik alandan faydalanılır (Özkan, 2019). Bu yöntem ile test edilen malzemelerdeki hataların belirlenebilmesi, hatanın boyutuna ve yüzeye yakınlığına bağlıdır (Blitz, 2012). Ayrıca bu yöntemin uygulanabilmesi için test edilecek malzemelerin demir, nikel, kobalt gibi ferromanyetik özellikte olmaları gerekmektedir

(Gönül ve Bayraktaroğlu, 2018). Manyetik kutup çiftine sahip malzemelerin manyetik alan içindeki davranışları farklı türlerde olur ve bu davranışlar da malzemelerin manyetiklik türünü belirler (Gövce, 2015). Manyetik parçacık ile muayene yöntemi özellikle çelik ve titanyum gibi malzemelerde etkili sonuçlar verir. Bu yöntem, malzemenin yüzeyindeki ve yüzeyine yakın kısımlarında bulunan korozyonun, kusurun ve süreksizliğin tespitinde oldukça etkilidir (Gövce, 2015). Manyetik parçacık kontrolüne başlamadan önce bir düzenek yardımı ile malzeme mıknatıslandırılır. Mıknatıslanan bu malzemenin molekülleri üzerinde kuzey ve güney kutupları oluşur. Burada oluşan kuvvet çizgileri kuzey (north) kutbundan çıkar ve güney (south) kutbuna girer (Gönül ve Bayraktaroğlu, 2015). Bu şekilde devamlı ve daima kapalı bir çevrim gerçekleşir ve böylece bir manyetik alan oluşur. Manyetik alan oluştuktan sonra, test numunesinin yüzeyine demir tozu dökülür veya ince toz hâlinde manyetik malzeme püskürtülür. Manyetik parçacık ile muayene yönteminde, kusurların tespit edilebilmesi için genellikle demir tozu kullanılmaktadır. Mıknatıslanan malzemenin üzerine dökülen demir tozları manyetik alanda akı kuvvet çizgileri boyunca sıralı hale gelir. Eğer test edilen malzemede bir kusur varsa demir tozlar hatanın bulunduğu yerde birikir (Gönül ve Bayraktaroğlu, 2015). Bu yöntem, test numunesinin boyutu ve şekli üzerinde neredeyse hiçbir kısıtlama olmaksızın, çok sığ ve ince çatlaklar gibi yüzey süreksizliklerini tespit etmek için kullanılan en güvenilir tekniktir (Shull, 2002). Ancak bu muayene yönteminin kullanılmasını kısıtlayan, sadece mıknatıslanabilen malzemelere uygulanabilmesi, malzemelerin iç yapısının kontrol edilememesi gibi faktörler vardır (Yetiştiren ve ark., 2007).

Tahribatsız muayene yöntemleri yüzeysel ve hacimsel olarak ayrıldığında, radyografik muayene ve ultrasonik muayene yöntemleri, hacimsel yöntemler sınıfına girer. Radyografik kontrol yönteminde, yüksek enerjiye sahip elektromanyetik dalgalar pek çok malzemeye nüfuz edebilir (Robini et al., 2006). Bu dalgalar, malzemenin farklı kısmına yerleştirilen dalgaya duyarlı filmleri de etkileyebilir (Tuğrul ve ark., 2008). Filmlerin banyo işlemi gerçekleştirildiğinde test numunesi yapısının görüntüsü elde edilir. Bu görüntü malzeme içindeki boşluklardan dolayı ya da malzemenin yoğunluk ve kalınlık değişkenlerinden dolayı ortaya çıkar (Robini et al., 2006). Malzemelerin iç yapısını bu şekilde görüntülemek için kullanılan yöntem radyografi yöntemi denir (Tuğrul ve ark., 2008). Radyografik kontrol yöntemi, diğer tahribatsız muayene yöntemlerine göre, test edilen malzemelerin türü üzerinde herhangi bir kısıtlama olmaksızın, önemli bir avantajı vardır. Bu yöntem ile yoğunluk, kalınlık ölçümü gibi malzemenin temel yapısı hakkında bilgiler elde edilebilir (Shull, 2002). Ancak bu yöntemin kullanımı kısıtlayan birçok etken vardır. Bu yöntemde elde edilen sonuçların analizi ve yorumlanması oldukça deneyimli uzmanlar tarafından yapılmalıdır. Radyografi yönteminde radyasyon tehlikesi olduğundan dolayı gerekli güvenlik önlemleri alınmalıdır. Ayrıca bu yöntemde malzemeye gömülü olan çatlaklar tespit edilememektedir çünkü çatlak radyasyonun hareket yönüne paralel olmalı veya radyografiye kaydedilmesi için yeterince büyük olmalıdır (Raj et al., 2002). Radyografik kontrol yöntemi, malzemelerin iç yapısındaki hata ve süreksizliklerin tespit edilebilmesi en çok kullanılan tahribatsız muayenelerden biridir. Ama bu muayene doğru bir şekilde yapılmalıdır yoksa verimli sonuçlar alınamaz (Gürsel, 2013). X ışınları veya gama ışınları, bu muayene yönteminin en önemli teknikleridir. Işınlama enerjisini etkileyen faktörler, görüntünün yansıtılacağı filmin mesafesi, malzemenin tipi, ışın kaynağının malzemeye

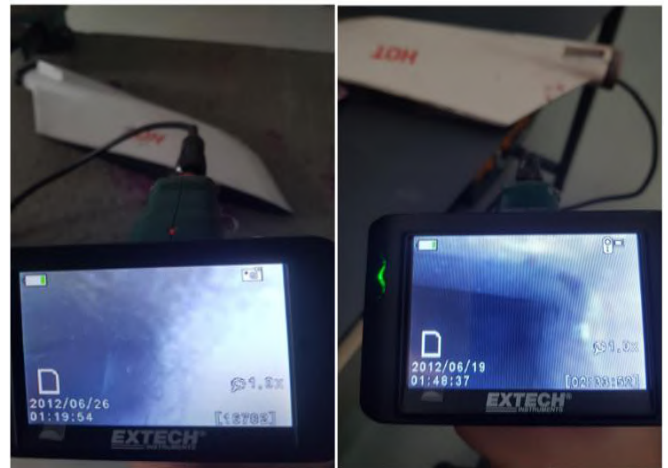
uzaklığı, malzeme kalınlığı gibi etkenlerdir (Raj et al., 2002). Muayene sonucunda doğru sonuçlar elde etmek için, testler standartlara uygun olarak yapılmalıdır. Radyografik testler genellikle EN 1435 veya EN 12517 standartlarına göre yapılır alınamaz (Gürsel, 2013). Bu yöntem, tıp, demiryolu, endüstriyel uygulamalar ve havacılık gibi çok geniş alanlarda kullanılabilir. Havacılıkta, uçak malzemeleri ve ekipmanları üzerinde kullanılmaktadır. Uçakların kompozit yapılarındaki su, nem, yapıştırıcı bozulmalar, yorulma çatlakları, ezilmeler, peteklerdeki ayrılmalar ve yüzey malzemelerinde oluşan süreksizlikler radyografik yöntem ile kolayca bulunabilmektedir (Kayrak, 2012). Muayene işlem süresinin kısa olması, geniş aralıkların kontrol edilebilmesi, test sonuçlarının kalıcı olması ve doğru sonuçlar elde edilebilmesinden dolayı bu yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır (Kayrak, 2012; Üner, 2011). Üner (2011) çalışmasında, radyografik kontrolün havacılıkta, makro yapıların incelenmesinde, çatlak, korozyon, gevrek bağlantı parçalarının ve perçinlerin, hasarlı yapıların, karmaşık yapı arızalarının veya aksaklıklarının tespit edilmesinde, bal peteği kompozit yapıların tetkikinde ve tüm malzemelerdeki kaynak kontrolü için kullanılabilirliğini belirtmiştir. Kafalı (2004) ise çalışmasında, bir Boeing 737-800 tipi uçağın flap ucunda bulunan petek yapının, radyografik yöntem ile kontrol edildiğini belirtmiştir. Bu yöntem sayesinde, petek yapısının içindeki su ve yapıştırıcı birikintileri ve yapının içindeki su birikintileri tespit edilmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde, 'Drain Mast' komponentinin gözle kontrol (boroskop), sıvı penetrant ve ultrasonik kontrol yöntemleri ile tahribatsız muayenesi yapılmıştır. Gözle kontrol ve sıvı penetrant yöntemleri ile test numunesinin yüzeysel kontrolleri, ultrasonik kontrol yöntemi ile de test malzemesinin hacimsel kontrolleri yapılmıştır ve testlerde doğru sonuçların alınabilmesi için test numunelerinin ön temizliği yapılmıştır.

### 2.1. Drain Mast Komponentinin Görsel Muayenesi

Airbus uçağına ait ve 'PN: 4-6000H883-00' numaralı 'Drain mast' komponentinin önce ön temizlik işlemi gerçekleştirilmiştir. Temizlik işleminden sonra ise büyüteç, komparatör gibi yardımcı elemanlar kullanılarak komponentin görsel incelemesi yapılmıştır. Drain mast komponentinin direkt olarak erişilemeyen bölgelerinin kontrolü, boroskop cihazı ile gerçekleştirildi. Boroskop ile gerçekleştirilen inceleme 'Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Drain Mast komponentinin boroskop cihazı ile incelenmesi.



Drain mast komponentinin yüzeysel muayenesi sırasında elde edilen görüntüler, daha sonradan da kontrol edilebilmesi için boroskop cihazı aracılığıyla kaydedilmiştir. Boroskop cihazı ile kaydedilen görüntüler 'Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Drain mast komponentinin boroskop cihazı ile incelemesinde elde edilen görüntüler.

Şekil 4'te görüldüğü üzere drain mast komponentinin iç yüzeyinde nokta şeklinde çukurcuklar, aşınmalar ve çizikler oluştuğu görülmektedir. Ama bu kusurların iç bölgede çatlak oluşturacak seviyede olmadığı tespit edilmiştir çünkü yapılan kontrollerde herhangi bir çatlak izine rastlanmamıştır.

## 2.2. Drain Mast Komponentinin Sıvı Penetrant Muayenesi

Airbus uçağına ait ve 'PN: 4-6000H883-00' numaralı 'Drain mast' komponenti, öncelikle uygun çözücü kullanılarak temizlenmiştir. Bu işlemden sonra komponentin yüzeyine, CR 50 (penetrant) spreyi sıkılmıştır. Uygun bekleme süresinden

sonra komponent üzerindeki fazla penetrant, CR 60 (cleaner) solventi kullanılarak uzaklaştırılmıştır. Son aşama olarak da CR 70 (developer) spreyi sıkılarak, komponent üzerinde beyaz bir tabaka oluşturulmuştur. Drain mast komponentinin penetrant uygulaması 'Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Drain mast komponentinin penetrant uygulaması.

Yukarıda 'a, b ve c' aşamalarında görüldüğü üzere öncelikle drain mast komponenti üzerine penetrant uygulanmıştır. Belli bir süre beklendikten sonra 'd, e ve f' aşamalarında görüldüğü gibi fazla penetrantın alınabilmesi için cleaner uygulanmıştır. Fazla penetrant alındıktan sonra 'g ve h' aşamalarında görüldüğü üzere developer uygulanmıştır ve belli bir süre beklenmiştir. Bu uygulamadan sonra, daha net bir şekilde görülen yüzeysel kusurlar 'Şekil 6'da görülmektedir.

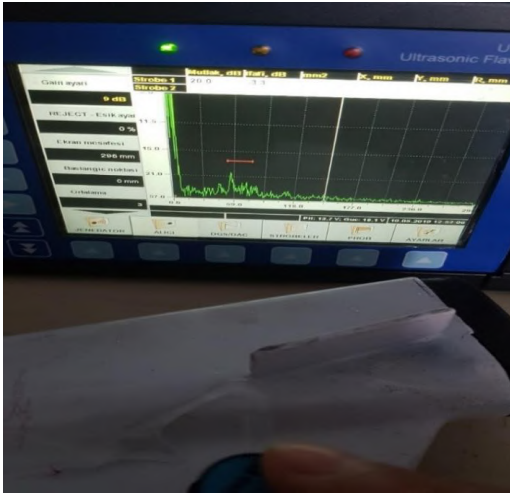


Şekil 6. Drain mast komponentinin penetrant uygulaması ile muayenesi.

Şekil 6’da görüldüğü üzere drain mast komponentinin dış yüzeyinde developer sayesinde bir beyaz tabaka oluşturulmuştur. Drain mast komponentin üzerindeki fazla penetrantın temizlendiği aşamada, komponentin üzerindeki çatlaklara nüfuz eden penetrant sıvısı uzaklaştırılmamıştır. Bu sayede beyaz tabaka oluşturulduğunda, kırmızı olarak görülen kısımlarda hata ve süreksizliklerin olduğu tespit edilmiştir.

### 2.3. Drain Mast Komponentinin Ultrasonik Kontrolü

Airbus uçağına ait ve ‘PN: 4-6000H883-00’ numaralı ‘Drain mast’ komponentinin ön temizlik işlemi tamamlandıktan sonra, kontrol edilecek yüzeye ultrasonik jel sürülmüştür. Bu kontrolde ‘2 Mhz ve 0°’ özelliklere sahip ultrasonik prob kullanılmıştır. Drain mast komponentinin ultrasonik muayenesi ‘Şekil 7’de görülmektedir.



Şekil 7. Drain mast komponentinin ultrasonik kontrol ile muayenesi.

Şekil 7’de görülen drain mast komponentinin ultrasonik muayenesinde, ‘Mutlak desibel’ değeri ‘20.0 dB’ ve ‘Bağıl desibel’ değeri ‘-3.3 dB’ olarak tespit edilmiştir. Bu komponentin ultrasonik kontrolleri sonucunda, iç yapısında herhangi bir hata veya süreksizlik tespit edilmemiştir.

## 3. Sonuç ve Tartışma

Drain mast, komponenti üzerinde gerçekleştirilen görsel muayene, sıvı penetrant ile muayene ve ultrasonik kontrol yöntemlerinin karşılaştırılması ‘Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Görsel, sıvı penetrant ve ultrasonik kontrol yöntemlerinin karşılaştırılması.

	Görsel Muayene (Boroskop)	Sıvı Penetrant Yöntemi	Ultrasonik Kontrol
İlk Maliyet	Orta	Ucuz	Yüksek
Kullanım Maliyeti	Çok az	Orta	Çok az
Ekipmanların Taşınabilirliği	Taşınabilir	Taşınabilir	Taşınabilir
Test Numunesinin Geometrik Etkisi	Önemli değil	Çok önemli değil	Önemli
Hassasiyet Durumu	Az	Az	Yüksek
Hata Türü	Yüzeysel	Yüzeysel	Hacimsel
Test Süresi	10-15 dk.	30-45 dk.	5-10 dk.
Sonuç Süresi	Anında	Gecikmeli	Anında
Sonuçların Kayıt Edilebilmesi	Evet	Hayır	Hayır
Operatör Tecrübesi	Yüksek	Az	Yüksek

Tablo 1’e bakıldığında ultrasonik muayene yönteminin diğer yöntemlere göre daha pahalı olduğu anlaşılmaktadır. Ultrasonik kontrol ile hem hata tespitinin hem de kalınlık ölçümünün yapılabildiği görülmektedir. Bu yöntemlerde gerçekleştirilen test sonuçlarının sadece görsel muayene (boroskop) yönteminde kaydedilebildiği görülmektedir. Sıvı penetrant yönteminin uygulanabilmesi için testi yapan kişinin çok tecrübeli olmasına gerek yoktur.

Drain mast, komponenti üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Deneysel elde edilen sonuçların, sadece görsel muayene (boroskop) yönteminde kaydedilebildiği belirlenmiştir.
- Deneysel test edilen uçak komponentinin görsel muayenesinde ve sıvı penetrant muayenesinde sadece yüzeydeki ve yüzeye yakın olan bölgelerdeki hata ve süreksizlikler tespit edilmiştir. Ultrasonik kontrolde ise malzemenin iç yapısındaki kusurların kontrolü yapılmıştır.
- Tahribatsız muayene yöntemleri, maliyet açısından karşılaştırıldığında, sıvı penetrant yönteminin en ucuz yöntem olduğu belirlenmiştir.
- Deneysel kullanılan test numunelerinin geometrik etkisinin, görsel muayene ve sıvı penetrant muayenesinin sonuçlarını çok fazla etkilemediği tespit edilmiştir.
- Ultrasonik kontrol ve görsel muayene yöntemlerinde, test sonuçlarının anlık alınabildiği tespit edilmiştir.



## Kaynakça

- Akay, A. A., Yakup, K. A. Y. A., & Kahraman, N. (2013). Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi İle Birleştirilen X60, X65 Ve X70 Çeliklerin Kaynak Bölgesinin Etüdü. *Karaelmas Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 3(2), 34-42.
- Aoukili, A., & Khamlichi, A. (2018). Damage Detection Of Surface Cracks İn Metallic Parts By Pulsed Eddy-Current Probe. *Procedia Manufacturing*, 22, 209-214.
- Başığit, C., Çomak, B., Kılınçarslan, Ş., & Kamacı, Z. (2013). Depremde Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Beton Kalitesini Belirlemede Yeni Yaklaşımlar: Görüntü İşleme Örneği.
- Blitz, J. (2012). *Electrical And Magnetic Methods Of Non-Destructive Testing (Vol. 3)*. Springer Science & Business Media.
- Bossi, R. H., & Giurgiutiu, V. (2015). Nondestructive Testing Of Damage İn Aerospace Composites. In *Polymer Composites İn The Aerospace Industry (Pp. 413-448)*. Woodhead Publishing.
- Cerniglia, D., Scafidi, M., Pantano, A., & Rudlin, J. (2015). Inspection Of Additive-Manufactured Layered Components. *Ultrasonics*, 62, 292-298.
- Chauveau, D. (2018). Review Of NDT And Process Monitoring Techniques Usable To Produce High-Quality Parts By Welding Or Additive Manufacturing. *Welding İn The World*, 62(5), 1097-1118.
- Diamanti, K., & Soutis, C. (2010). Structural Health Monitoring Techniques For Aircraft Composite Structures. *Progress İn Aerospace Sciences*, 46(8), 342-352.
- Drury, C. G., & Watson, J. (2002). Good Practices İn Visual Inspection. *Human Factors İn Aviation Maintenance-Phase Nine, Progress Report, FAA/Human Factors İn Aviation Maintenance*. @ URL: <http://hfskyway.faa.gov>.
- Duarte, D., Marado, B., Nogueira, J., Serrano, B., Infante, V., & Moleiro, F. (2016). An Overview On How Failure Analysis Contributes To Flight Safety İn The Portuguese Air Force. *Engineering Failure Analysis*, 65, 86-101.
- Durmuş, H., & Baygut, A. (2018). Soğuk Dövme Yöntemi İle Üretilen Bağlantı Elemanındaki Kılcal Kafa-Kılcal Vida Diş Yüzey Çatlaklarının Girdap Akımları Metodu İle Analizi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 28-36.
- Dwivedi, S. K., Vishwakarma, M., & Soni, A. (2018). Advances And Researches On Non Destructive Testing: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3690-3698.
- Emerson, R. N., Pollock, D. G., Kainz, J. A., Fridley, K. J., Mclean, D., & Ross, R. J. (1998, August). Nondestructive Evaluation Techniques For Timber Bridges. In *V World Conference On Timber Engineering*. Montreux, Switzerland (Vol. 1, Pp. 670-677).
- Fathi-Hafshejani, P., & Honarvar, F. (2019). Nondestructive Evaluation Of Clad Rods By Inversion Of Acoustic Scattering Data. *Journal Of Nondestructive Evaluation*, 38(3), 1-9.
- Fotouhi, S., Pashmforoush, F., Bodaghi, M., & Fotouhi, M. (2021). Autonomous Damage Recognition İn Visual Inspection Of Laminated Composite Structures Using Deep Learning. *Composite Structures*.
- Garcia Marquez, F. P., & Gomez Munoz, C. Q. (2020). A New Approach For Fault Detection, Location And Diagnosis By Ultrasonic Testing. *Energies*, 13(5), 1192.
- Gärtner, S., Krause, H. J., Wolters, N., Lomparski, D., Wolf, W., Schubert, J., ... & Allweins, K. (2002). Non-Destructive Evaluation Of Aircraft Structures With A Multiplexed HTS Rf SQUID Magnetometer Array. *Physica C: Superconductivity*, 372, 287-290.
- Gholizadeh, S. (2016). A Review Of Non-Destructive Testing Methods Of Composite Materials. *Procedia Structural Integrity*, 1, 50-57.
- Goranson, U. G. (1983). Elements Of Damage Tolerance Verification. In *Proceeding Of The 12th International Committee On Aeronautical Fatigue Symposium (Pp. 1-8)*.
- Gönül, E., & Bayraktaroğlu, B. (2015). İş Güvenliğinde Tahratsız Muayenenin Önemi.
- Gönül, E., & Bayraktaroğlu, B. (2018). İşletmede Kullanılan İş Ekipmanlarının Yorulma Durumlarının Tahratsız Muayene İle Belirlenmesi.
- Gövce, M. S. (2005). *Uçak Bakımında Korozyon Analizi (Master's Thesis, Anadolu Üniversitesi)*.
- Grimm, T., Wiora, G., & Witt, G. (2015). Characterization Of Typical Surface Effects İn Additive Manufacturing With Confocal Microscopy. *Surface Topography: Metrology And Properties*, 3(1), 014001.
- Guirong, X., Xuesong, G., Yuliang, Q., & Yan, G. (2015). Analysis And İnnovation For Penetrant Testing For Airplane Parts. *Procedia Engineering*, 99, 1438-1442.
- Gül, H. (2019). *Seyyar Yangın Söndürme Cihazlarının İmalatında Uygulanan İdeal Gaz Altı Alın Kaynak Prosedürü Değerlerinin Tespiti (Master's Thesis, Namık Kemal Üniversitesi)*.
- Günay, H. (2008). *Girdap Akımları İle Malzeme Muayenesinde Malzeme Ayırımı, Yüzeysel Çatlak Kontrolü, Boru, Mil Ve Bilet Kontrolü Ve Döner Bobinli Test Sistemlerinde Muayeneye Etki Eden Parametrelerin Deneysel Olarak Optimizasyonu (Doctoral Dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü)*.
- Gürsel, A. (2013). *Petrol Borularının Kaynaklarında Radyografik Muayene Yönteminin Hata Tespit Kabiliyeti. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2(1), 55-65.
- Habibpour-Ledari, A., & Honarvar, F. (2018). Three Dimensional Characterization Of Defects By Ultrasonic Time-Of-Flight Diffraction (Tofd) Technique. *Journal Of Nondestructive Evaluation*, 37(1), 1-11.
- Ippolito, R., Iuliano, L., & Gatto, A. (1995). Benchmarking Of Rapid Prototyping Techniques İn Terms Of Dimensional Accuracy And Surface Finish. *CIRP Annals*, 44(1), 157-160.
- Jewett, J. W., & Serway, R. (2008). *Physics For Scientists And Engineers With Modern Physics*. Vectors, 1, 2.
- Kafalı, H. (2004). *Uçaklarda Sandviç Kompozitlere Uygulanan Tahratsız Muayene Yöntemleri (Master's Thesis, Anadolu Üniversitesi)*.
- Kalinichenko, A., Sosnin, E., Avdeev, S., Kalinichenko, N., & Lobanova, I. S. (2019). Fluorescent Penetrant Testing By Means Of Excilamps. In *Materials Science Forum (Vol. 942, Pp. 131-140)*. Trans Tech Publications Ltd.
- Kayrak, M. A. (2012). *UÇAK BAKIMINDA DARBE HASARININ TAHRİATSIZ KONTROLÜ*. *Engineer & The Machinery Magazine*, (629).
- Kılıç, O. (2019). *Marmaray Demiryolu Hattında Ray Kusurlarının Ultrasonik Yöntemle İncelenmesi Ve Ray Kusurlarının Hattın Hangi Kısımlarında Yoğunlaştığının Tespiti (Doctoral Dissertation, Marmara Üniversitesi (Turkey))*.
- Kujawińska, A., & Vogt, K. (2015). Human Factors İn Visual Quality Control. *Management And Production Engineering Review*, 6.

- Lu, Q. Y., & Wong, C. H. (2017). Applications Of Non-Destructive Testing Techniques For Post-Process Control Of Additively Manufactured Parts. *Virtual And Physical Prototyping*, 12(4), 301-321.
- Ma, H. W., Zhang, X. H., & Wei, J. (2002). Research On An Ultrasonic NDT System For Complex Surface Parts. *Journal Of Materials Processing Technology*, 129(1-3), 667-670.
- Mahoon, A. (1988). The Role Of Non-Destructive Testing In The Airworthiness Certification Of Civil Aircraft Composite Structures. *Composites*, 19(3), 229-235.
- Manikandan, K. R., Sivagurunathan, P. A., Ananthan, S. S., Moshi, A. A. M., & Bharathi, S. S. (2020). Study On The Influence Of Temperature And Vibration On Indications Of Liquid Penetrant Testing Of A516 Low Carbon Steel. *Materials Today: Proceedings*.
- Matzkanin, G. A. (2006). Selecting A Nondestructive Testing Method: Visual Inspection. *Advanced Materials, Manufacturing And Testing Information Analysis Center*, 1(3), 7-10.
- Melloy, B. J., Harris, J. M., & Gramopadhye, A. K. (2000). Predicting The Accuracy Of Visual Search Performance In The Structural Inspection Of Aircraft. *International Journal Of Industrial Ergonomics*, 26(2), 277-283.
- Migoun, N. P., & Delenkovsky, N. V. (2008, October). The Ways Of Penetrant Testing Applicability For Rough Surfaces. In *Proceedings Of 17th World Conf. On NDT, Shanghai, China* (Pp. 25-28).
- Mouritz, A. P., Townsend, C., & Khan, M. S. (2000). Non-Destructive Detection Of Fatigue Damage In Thick Composites By Pulse-Echo Ultrasonics. *Composites Science And Technology*, 60(1), 23-32.
- Nesvijski, E. G. (2000). Some Aspects Of Ultrasonic Testing Of Composites. *Composite Structures*, 48(1-3), 151-155.
- Novák, A., Sedláčková, A. N., Bugaj, M., Kandra, B., & Lusiak, T. (2020). Use Of Unmanned Aerial Vehicles In Aircraft Maintenance. *Transportation Research Procedia*, 51, 160-170.
- Okan, K. A. R. A., Erdal, H., & Çelik, H. H. (2017). Tahribatsız Test Yöntemleri: Karşılaştırmalı Bir Derleme Çalışması. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 29(3), 82-93.
- Omelić, M., & Hrman, D. (2006). Measurements Of UV Radiation During NDT Inspection. In *9th European Conference On NDT, Proceedings BB 103-CD*.
- Öktem, H. F. (2002). Ultrasonik Tahribatsız Muayene Tekniğinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi (Doctoral Dissertation, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir).
- Özkan, E. (2019). Kaynak Sonrası S355J2N Yapı Çeliğinde Oluşan Gerilmeleri Gidermek İçin Uygulanan Isıl İşlemin Etkilerinin Tahribatlı-Tahribatsız Muayene Yöntemleriyle Belirlenmesi (Master's Thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- Papa, U., & Ponte, S. (2018). Preliminary Design Of An Unmanned Aircraft System For Aircraft General Visual Inspection. *Electronics*, 7(12), 435.
- Parida, N. (2009). Non Destructive Testing And Evaluation
- Prassianakis, I. N., & Prassianakis, N. I. (2004). Ultrasonic Testing Of Non-Metallic Materials: Concrete And Marble. *Theoretical And Applied Fracture Mechanics*, 42(2), 191-198.
- Raj, B., Jayakumar, T., & Thavasimuthu, M. (2002). *Practical Non-Destructive Testing*. Woodhead Publishing.
- Robini, M. C., Labryere, J. P., & Magnin, I. E. (2006). Radiographic Inspection Of Thick Metal Components, Part I: Fitting The Standard Linear Image Formation Model. In *2006 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record* (Vol. 2, Pp. 964-968). IEEE.
- Schmerr, L. W. (2016). *Fundamentals Of Ultrasonic Nondestructive Evaluation*. New York, NY, USA:: Springer.
- Seçim, C. (2011). 'Tahribatsız Muayene Yöntemleri Ve Uygulama Alanları', Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 2011.
- See, J. E. (2015). Visual Inspection Reliability For Precision Manufactured Parts. *Human Factors*, 57(8), 1427-1442.
- Sezgin, H. S., Muftuler, F. Z. B., Ichedef, C., Kilcar, A. Y., Teksoz, S., Unak, P., & Harmansah, C. (2017). A New Approach To Liquid Penetrant Inspection: Radiolabeled Qdots. *Journal Of Radioanalytical And Nuclear Chemistry*, 313(2), 291-297.
- Shakibi, B., Honarvar, F., Moles, M. D. C., Caldwell, J., & Sinclair, A. N. (2012). Resolution Enhancement Of Ultrasonic Defect Signals For Crack Sizing. *NDT & E International*, 52, 37-50.
- Shull, P. J. (2002). *Nondestructive Evaluation: Theory, Techniques, And Applications*. CRC Press.
- Stancu, C., Grigore, E., Stoian, D., & Dumitru, A. (2011). "Integration Of Nondestructive Testing In Aircrafts Maintenance".
- Suhaila, Y., Rafidah, A., Ariffin, N. H., Arshad, A., Ismail, S. A., Bakar, F. A. A., & Ibrahim, M. (2014). Development Time In Liquid Penetration Testing For Metal Butt Joint. In *Applied Mechanics And Materials* (Vol. 465, Pp. 1109-1113). Trans Tech Publications Ltd.
- Taheri, H., Kilpatrick, M., Norvalls, M., Harper, W. J., Koester, L. W., Bigelow, T., & Bond, L. J. (2019). Investigation Of Nondestructive Testing Methods For Friction Stir Welding. *Metals*, 9(6), 624.
- Towsyfy, H., Biguri, A., Boardman, R., & Blumensath, T. (2020). Successes And Challenges In Non-Destructive Testing Of Aircraft Composite Structures. *Chinese Journal Of Aeronautics*, 33(3), 771-791.
- Tuğrul, A. B., Baydoğan, N., Altınsoy, N., Dizay, D., & Yağcı, E. (2008). Otomotiv Parçalarının Radyografik İncelenmesi.
- Türker, M., Güven, E. A., & Ertürk, A. T. (2011). Ultrasonik Yöntem İle Tahribatsız Malzeme Muayenesi. *Metal Dünyası*, 222, 108-115.
- Üllen, N. B., & Baba, G., (2020), 'Çeşitli Sıcak Dövme Kalıplarının Hasar Mekanizmalarının İncelenmesi' 2nd International Eurasian Conference On Science, Engineering And Technology, Ocak, 2020.
- Üner, Ü. (2011). Mekanik Boya Sökme İşleminin Al 2024 T6 Alaşımının Yorulma Özelliklerine Etkisi (Master's Thesis, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yağcı, T., Çidem, A., & Durmuş, H. (2018). Geçmişten Günümüze Tahribatsız Muayene Yöntemleri. *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 3(27), 49-61.
- Yetiştiren, H., Zeren, A., & Feyzullahoğlu, E. (2007). Taşıma Tekniği Ekipmanlarının Bakımında Kullanılan Tahribatsız Muayene Yöntemleri. *Mühendis Ve Makina*, 48(571), 17-24.
- Yılmaz, H. (2014). Ray Kusurlarının Örnek Hat Üzerinde Ultrasonik Yöntemle İncelenmesi Ve Ray Gerilmelerinin Belirlenmesi (Doctoral Dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Zorbacı, B. (2011). Uçak Bakım İşletmesinde İyileştirme Öneri Ve Uygulamaları (Master's Thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).



# Robot Programming Using Model Based Design Tools

Mustafa Engin<sup>1\*</sup>, Okan Duymazlar<sup>2</sup>, Dilşad Engin<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Ege University, Ege Higher Vocational School, Department of Electronic and Automation, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7247-4545), [mustafa.engin@ege.edu.tr](mailto:mustafa.engin@ege.edu.tr)

<sup>2</sup> Ege University, Ege Higher Vocational School, Department of Mechatronics, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1327-7493), [okan.duymazlar@ege.edu.tr](mailto:okan.duymazlar@ege.edu.tr)

<sup>3</sup> Ege University, Ege Higher Vocational School, Department of Electronic and Automation, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0159-275X), [dilsad.engin@ege.edu.tr](mailto:dilsad.engin@ege.edu.tr)

(First received 16 October 2021 and in final form 27 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010444)

**ATIF/REFERENCE:** Engin, M., Duymazlar, O. & Engin, D. (2021). Robot Programming Using Model Based Design Tools. *European Journal of Science and Technology*, (31), 861-869.

## Abstract

The aim of this study is to perform a model-based design for six-revolute (6R) manipulators with six degrees of freedom commonly used in the industrial field and to obtain a simulation and test environment as output. 3D model of the 6R manipulator is designed and drawn using a solid drawing and simulation software. The obtained solid model is transferred to MATLAB™ and integrated to SimMechanics™. With the obtained data output, the forward and inverse kinematic calculations are performed in the computer environment instead of the manipulator controller. The functionality of the simulation and designed visual interface (VI) is tested using the IRB120 6R manipulator. The data transfer between the interface and the manipulator is performed via TCP / IP socket communication.

**Keywords:** Kinematics, Robotics, Model-based design, Socket communication.

## Model Tabanlı Tasarım Araçları ile Robot Programlama

### Öz

Bu çalışmada endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılan altı serbestlik derecesine sahip 6R manipülatörleri için model tabanlı bir tasarım yapılmış ve çıktı olarak bir simülasyon ve test ortamı elde edilmiştir. 6R manipülatörünün 3 boyutlu modeli, katı model ve simülasyon yazılımı kullanılarak tasarlanmış ve çizilmiştir. Elde edilen katı model MATLAB™'e aktarılmış ve SimMechanics™'e entegre edilmiştir. Elde edilen çıktı ile ileri ve ters kinematik hesaplamalar bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen simülasyon ve tasarlanan görsel arayüzün işlevselliği, IRB120 6R manipülatörü kullanılarak doğrulanmıştır. Arayüz ile manipülatör arasındaki veri aktarımı, TCP / IP soket iletişimi ile yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kinematik, Robotik, Model tabanlı tasarım, Soket iletişimi.

\* Corresponding Author: [mustafa.engin@ege.edu.tr](mailto:mustafa.engin@ege.edu.tr)



## 1. Introduction

Increasing demand in the digitization of manufacturing, mass customization, and flexible manufacturing systems bring forth the utilization of robots in industry is becoming more widespread. Robots are one of the main components of the industry 4.0, which conceptualize the flexible production systems and the technological transformation with the adoption of computers and automation improved by smart autonomous systems that are equipped with data (Hermann et al., 2016; Mourtzis et al., 2019).

The use of robots in mass production lines, transport, assembly, and quality control areas where repetitive works are carried out, provides a 90% reduction in the unqualified workforce needed in production enterprises, while the faulty production rates allow an 80% reduction in comparison with traditional methods (Alkan, 2018).

When the benefits of integrating robots into existing systems are considered, an adaptation of the robots to the manufacturing and production industry becomes important, regardless of whether they have large or small production quantities. However, it will take time in learning how to control a new robot that will be included in production, packaging, transportation, or quality control operations. Learning cost and time loss will arise for different interfaces and software of each manufacturer's robot. Moreover, the requirements related to the control development of the robot's motion performance result in utilization of simulation and model-based control of industrial robotic applications to enhance the productivity (Brogårdh, 2009).

Although different industrial robot manufacturers produce robots in various forms, the general form of industrial robots is like each other. It will be useful to develop a generalized testing interface that will serve as an input and monitoring interface. This interface also acts like a simulator, which only needs link dimensions of manipulators, which are of the same form.

Researchers work on software interface development and hardware design platforms. These are dedicated to specific industrial robots, only hardware design, or just simulation platforms.

A SolidWorks® Application Programming Interface is utilized where a platform, named as IRoSim, is developed for CAD design and a simulation of serial robot arms with different types of joints (Baizid et al., 2016). Neto et al. present an intuitive robot programming based on CAD drawings to generate offline robot programs equipped with human-robot interface (Neto et al., 2012). A developed toolbox named ARTE (A Robotics Toolbox for Education) is for teaching of serial industrial robotic manipulators, which works under MATLAB and has functions to solve kinematics and dynamics related problems as well as graphics functions to get dynamic visualization of robotic manipulators. This toolbox eases the development of advanced robotic models and simulate them (Gil et al., 2015). 3D CAD design and dynamic simulation of a KUKA robot via Autodesk Inventor, and simulation by MATLAB SimMechanics™ gives very accurate results comparatively (Udai et al., 2011). A CAD-based programming platform and human-robot interface is developed based on open-source libraries where any user can generate a robot path from a CAD model and visualize the simulation (Schou et al., 2013). A

Java-based open-source platform, JOpenShowVar, is designed for industrial Kuka robots and robot controllers as a communication interface which allows to read/write the controlled manipulator variables and data structures (Sanfilippo et al., 2015). Rehbein et al. (2019) developed a simplified model-based design for industrial robot programming with offline programming capability (Rehbein, Wrutz, and Biesenbach 2019). This research provides model-based robot programming for KUKA robot manipulators using MATLAB/Simulink with an implemented interface to improve the robot system capabilities by advanced programming languages with the aim to increase the flexibility and ease of robot programming.

These efforts are for less time consuming, and more flexible solutions regarding the traditional online/offline robot programming. To achieve these goals, we need to convey robot programming to a higher level of abstraction rather than a specific robot programming.

In this study, we carried out a design process for a common type six-rotary (6R) axis open chain manipulators produced by different manufacturers, which are only different in link dimensions. The model-based design process includes the mathematical model of the manipulator, the forward and inverse kinematic calculations, as well as the dynamic analysis to determine the torque requirements of the actuators and the implementation of the controller design for use in the simulator. In the design phase, observability is prioritized instead of aesthetic concern. For this purpose, the observed manipulator in the simulation interface is designed as a direct drive in the form of a skeleton. Control of ABB's 6R robot IRB120, which is independent of the designed system, is performed with the test interface. We examined the functionality of this interface and shared the findings with the suggestions.

Section 2 introduces the physical system design, material selection, forward and inverse kinematic analysis and dynamic analysis to determine torque requirements of the manipulator. This section also presents the control interface and programming ABB IRB120 manipulator via Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) socket communication with the IRC5 server. We presented our results in Section 3. Section 4 reviews the results and discuss the findings.

## 2. Material and Method

The two basic parameters to classify open chain industrial manipulators are the degree of freedom and the joint type. The degree of freedom (DoF) is the most important factor in robotic modeling and increasing the complexity in kinematic analysis. Basically, for open chain manipulators, DoF determined by the total numbers of joints which connect two cascade link/arm (Banka & Lin, 2003). Joint types are classified as spherical, cylindrical, prismatic, helical, planar, and rotating. In open chain industrial robots, commonly rotary joints and prismatic joints are preferred. We preferred a 6R manipulator of 6-DoF for creating a generalized test environment where all joints are rotary.

### 2.1. Physical System Design

A CAD process is handled to design a 6R serial manipulator using SolidWorks® software as shown in Figure 1(a). The most important aim considered in the design is to decrease the design complexity to observe the movements visually. Then it is



integrated to Simulink using SimMechanics™ add-on library as shown in Figure 1(b).

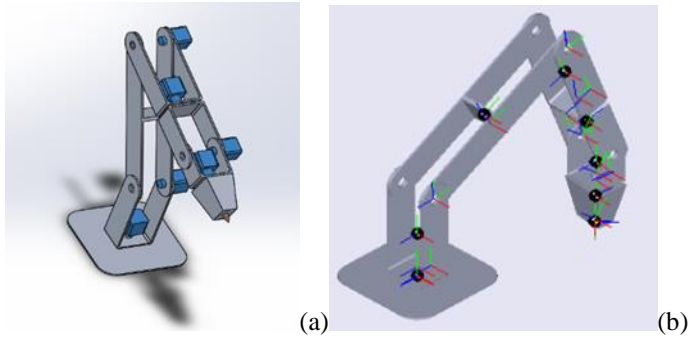


Figure 1 6R serial manipulator (a) design using SolidWorks®, (b) Simulink-integrated design using SimMechanics™

The designed 3D manipulator can also be classified as articulated robotic arm in literature, which is human arm structure-based manipulators where all joints are rotary. Articulated robots are the most common type since they manipulate objects in 3D workspace successfully and they are cost effective while having the minimum DOF for 3D manipulation requirements. In industrial use, articulated serial manipulators with six rotary axes, are commonly used for painting, welding, assembly, quality control, etc. and electric motors are used as actuators in drive systems (Craig, 2005). Although the link dimensions change, the basic skeletal structure remains the same. Therefore, we shaped our design for the articulated as simplified to contain all these findings.

The position of a point in space can be expressed in parameters x, y, z in position by [3×1] vector. In the case of rigid bodies, to determine the position in space, there is also a need for the [3×3] orientation matrix. The orientation matrix refers to the orientation of a coordinate system relative to another coordinate system. This orientation is indicated by the parameters Yaw, Pitch and Roll respectively for the x, y and z axes (Fig. 2). In kinematic calculations, an orientation matrix should be created for each joint based on the coordinate of the joint before it. The homogeneous transformation matrix is obtained by combining the position vector and the orientation matrix of each axis (Mikkelsen, 1998). The resulting transformation matrix is used for forward and reverse kinematic calculations.

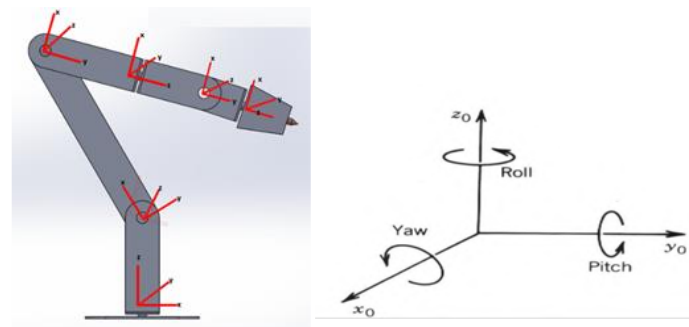


Figure 2 Orientation indicated by the parameters Yaw, Pitch and Roll respectively for the x, y and z axes

## 2.2 Forward Kinematics

We use the DH method developed by Denavit and Hartenberg (Denavit & Hartenberg, 1955) for kinematic analysis. Forward kinematics is the process of taking the joint angles of the robot as input and obtaining the position and orientation of the end effector of the robot as output. To find the position of the end effector, all the obtained matrices (one for each coordinate frame) are multiplied (Mikkelsen, 1998).

For a 6-DoF articulated arm, six DH parameters are defined as data set with three constants and one variable. Each measurement in the table is calculated by considering the previous joint and coordinate frame.

The DH table for the designed articulated arm, which is used for simulation environment, is shown in Table 1 where a is the distance between x-axis of successive links measured in the z-axis, d is the distance between z-axis of successive links measured in the x-axis, alpha is the angular difference between z-axes of sequential coordinate frames, and theta is the variable that express the rotation of the joint in its own z-axis direction.

Table 1. DH table for the designed articulated arm

Axis (i)	a (mm)	d (mm)	alpha (°)	theta (°)
1	0	425	-90	variable
2	850	0	0	variable
3	425	0	90	variable
4	0	-295	-90	variable
5	0	0	90	variable
6	0	-385	180	variable

Transformation matrix  $T_i$  is calculated for each axis using Eq. (1).

$$T_i = \begin{bmatrix} \cos(Q_i) & -\sin(Q_i) * \cos(\alpha_i) & \sin(Q_i) * \sin(\alpha_i) & a_i * \cos(Q_i) \\ \sin(Q_i) & \cos(Q_i) * \cos(\alpha_i) & -\cos(Q_i) * \sin(\alpha_i) & a_i * \sin(Q_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Then each transformation matrices are multiplied consecutively and a [4×4] matrix is obtained, which contains both rotation and the position values as given in Eq. (2).

$$T_0^6 = T_5^6 * T_4^5 * T_3^4 * T_2^3 * T_1^2 * T_0^1$$

$$T_0^6 = \begin{bmatrix} nx & sx & ax & px \\ ny & sy & ay & py \\ nz & sz & az & pz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & s & a & P \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

From the resulting matrix, the position of the end effector of the robot is obtained with the P vector and the orientation matrix of size [3×3] formed in the upper left corner.

$n_{x,y,z}$ ,  $s_{x,y,z}$ ,  $a_{x,y,z}$  that forms the orientation matrix correspond to the following statements algebraically as given by Eqs. (3–11).

If the parameters a and d in the DH table are changed for any robot, i.e., a 6R articulated arm which has the same form with different link dimensions, the same DH table and calculations can also be used for kinematic calculations. For the industrial robot ABB IRB120 having different dimensions from the pre-designed robot for the simulation environment, kinematic calculations and control are performed by updating only the link dimensions.

$$n_x = r_{11} = (s\theta_4 s\theta_6 - c\theta_4 c\theta_5 c\theta_6) c\theta_1 (s\theta_2 s\theta_3 - c\theta_2 c\theta_3) - s\theta_5 c\theta_6 (c\theta_2 s\theta_3 + s\theta_2 c\theta_3) + s\theta_1 (c\theta_4 s\theta_6 + s\theta_4 c\theta_5 c\theta_6) \quad (3)$$

$$n_y = r_{21} = s\theta_1 ((s\theta_4 s\theta_6 - c\theta_4 c\theta_5 c\theta_6) (s\theta_2 s\theta_3 - c\theta_2 c\theta_3) - s\theta_5 c\theta_6 (c\theta_2 s\theta_3 + s\theta_2 c\theta_3)) - c\theta_1 (s\theta_4 c\theta_5 c\theta_6 + c\theta_4 s\theta_6) \quad (4)$$

$$n_z = r_{31} = (c\theta_2 s\theta_3 + s\theta_2 c\theta_3) (s\theta_4 s\theta_6 - c\theta_4 c\theta_5 c\theta_6) + s\theta_5 c\theta_6 (s\theta_2 s\theta_3 - c\theta_2 c\theta_3) \quad (5)$$

$$s_x = r_{12} = c\theta_1 ((s\theta_2 s\theta_3 - c\theta_2 c\theta_3) (c\theta_4 c\theta_5 s\theta_6 + s\theta_4 c\theta_6) + s\theta_5 s\theta_6 (c\theta_2 s\theta_3 + s\theta_2 c\theta_3)) + s\theta_1 (c\theta_4 c\theta_6 - s\theta_4 c\theta_5 s\theta_6) \quad (6)$$

$$s_y = r_{22} = s\theta_1 ((s\theta_2 s\theta_3 - c\theta_2 c\theta_3) (c\theta_4 c\theta_5 s\theta_6 + s\theta_4 c\theta_6) + s\theta_5 s\theta_6 (c\theta_2 s\theta_3 + s\theta_2 c\theta_3)) - c\theta_1 (c\theta_4 c\theta_6 - s\theta_4 c\theta_5 s\theta_6) \quad (7)$$

$$s_z = r_{23} = (c\theta_2 s\theta_3 + s\theta_2 c\theta_3) (c\theta_4 c\theta_5 s\theta_6 + s\theta_4 c\theta_6) - s\theta_5 s\theta_6 (s\theta_2 s\theta_3 - c\theta_2 c\theta_3) \quad (8)$$

$$a_x = r_{13} = c\theta_1 (c\theta_4 s\theta_5 (s\theta_2 s\theta_3 - c\theta_2 c\theta_3) - c\theta_5 (c\theta_2 s\theta_3 + s\theta_2 c\theta_3)) - s\theta_1 s\theta_4 s\theta_5 \quad (9)$$

$$a_y = r_{23} = s\theta_1 (c\theta_4 s\theta_5 (s\theta_2 s\theta_3 - c\theta_2 c\theta_3) - c\theta_5 (c\theta_2 s\theta_3 + s\theta_2 c\theta_3)) + c\theta_1 s\theta_4 s\theta_5 \quad (10)$$

$$a_z = r_{33} = c\theta_4 s\theta_5 (c\theta_2 s\theta_3 + s\theta_2 c\theta_3) + c\theta_5 (s\theta_2 s\theta_3 - c\theta_2 c\theta_3) \quad (11)$$

### 2.3 Inverse Kinematics

Simply, inverse kinematics is a function that takes the end effector position and orientation matrix as inputs and give the joint angular values as outputs. Commonly, it is preferred to use one of three approaches for inverse kinematic calculation of open chain serial manipulators. These approaches are geometric, algebraic, and iterative (Niku, 2001). In theory, it may be complicated to obtain a closed form solution with using geometric or algebraic approach. Consequently, iterative approach seems preferable because it is superior to the first two approaches in terms of its independency to the physical system parameters. However, iterative approach requires more calculations than the algebraic or geometric one and convergence to the correct solution is not guaranteed (Jones BE, 1990). 6R manipulators commonly have the same physical form. Therefore, if all joints of the manipulator are revolute and last three joint axes intersect at a point, shortly spherical wrist, the obtained closed form turns into a general solution.

In this study, we used kinematic decoupling method to obtain closed-form solution, which is a sub-part of the geometric approach. Kinematic decoupling method handles the robot geometry in two parts as body and wrist.

The body part refers to the first three axes (q1, q2, q3) responsible for positioning and the wrist part (q4, q5, q6) represents the last three axes responsible for orientation as shown in Figure 3.

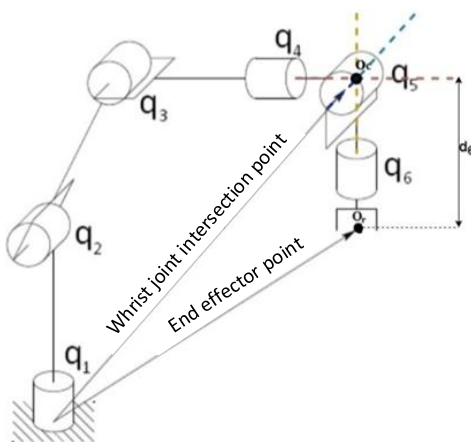


Figure 3 Kinematic Decoupling of 6R Manipulators

Body part calculations of the 6R manipulator are given by Eqns. (12 – 15). For the kinematic calculations  $a$  and  $d$  values

are taken from the DH table of the manipulator and the A and B variables are for reducing the formulas' complexity.  $\mp$  symbol is for obtaining both left- and right-hand solutions.

$$\theta_1 = \text{atan2}(p_y, p_x) \quad (12)$$

$$A = (p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 - a_3^2 - d_4^2) / 2a_3^2 d_4 \quad (13)$$

$$\theta_3 = -\text{atan2}(A, \pm\sqrt{(1 - A^2)}) \quad (14)$$

$$\theta_2 = -\text{atan2}(p_z, (\sqrt{p_x^2 + p_y^2} - \text{atan2}(d_4, \sin(\theta_3)), a_3 + d_4 \cos(\theta_3))) \quad (15)$$

The wrist part calculations are formulated in Eqns. (16–19).

$$\theta_5 = \text{atan2}(\pm\sqrt{1 - (r_{13} \sin(\theta_1) - r_{23} \cos(\theta_1))^2}, r_{13} \sin(\theta_1) - r_{23} \cos(\theta_1)) \quad (16)$$

$$B = r_{13} \cos(\theta_1) + r_{23} \sin(\theta_1) \quad (17)$$

$$\theta_4 = \text{atan2}(\mp(B) * \sin(\theta_2 + \theta_3) \mp (r_{33} \cos(\theta_2 + \theta_3)), (\pm(B) \cos(\theta_2 + \theta_3) \mp r_{23} \sin(\theta_2 + \theta_3))) \quad (18)$$

$$\theta_6 = \text{atan2}(\pm(r_{12} \sin(\theta_1), +r_{22} \cos(\theta_1)), \pm(r_{11} \sin(\theta_1) - r_{21} \cos(\theta_1))) \quad (19)$$

### 2.4 Dynamic Analysis to Determine Torque Requirements

Torque requirements for each actuator of the designed manipulator, which are subject to kinematic analysis for positioning, were calculated by dynamic analysis. Inverse dynamics utilizes the inertia and the angular acceleration parameters as inputs and calculates the torque values as output.

We determined the material of designed manipulator's skeleton for obtaining the inertial parameters. 1060-H14 Aluminum Alloy with a density of  $2.705 \text{ kg/m}^3$  was preferred to obtain the inertia matrices used as input.

Six reference coordinates were placed on the rotation axis of each actuator to calculate the inertial matrices. Masses, center of mass positions, and inertia matrices are defined by a  $[3 \times 3]$  matrix as in Eq. (20), and the elements of this matrix are reduced to six because of symmetry. The calculated results are presented in Table 2.

$$I_{link} = \begin{bmatrix} I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{yx} & I_{yy} & I_{yz} \\ I_{zx} & I_{zy} & I_{zz} \end{bmatrix} \quad (20)$$

Table 2. The elements of the reduced inertial matrix

Link	Mass (kg)	Center of Mass			$I_{xx}$	$I_{yy}$	$I_{zz}$	$I_{xy}$	$I_{xz}$	$I_{yz}$
		x	y	z						
1	1.19	0.000	0.000	0.094	0.000	0.000	0.021	0.019	0.004	0.000
2	2.235	0.212	0.000	0.050	0.024	0.000	0.011	0.147	0.138	0.000
3	1.192	0.118	0.000	0.062	0.009	0.000	0.008	0.032	0.025	0.000
4	0.855	0.000	0.000	0.092	0.000	0.000	0.010	0.011	0.002	0.000
5	0.561	0.040	0.002	0.051	0.001	0.000	0.002	0.004	0.002	0.000
6	0.454	0.000	0.005	0.060	0.000	0.000	0.002	0.002	0.001	0.000

A worst-case scenario was created for obtaining the second input parameter which was required for inverse dynamics. The manipulator configuration, that causes the maximum momentum and the desired maximum angular velocity for motion were determined.

Resulting inputs were used to obtain torque requirements of the manipulator through the *roboanalyzer* software, which uses recursive method for calculation (Rajeevlochana et al., 2011). The results are shown in Fig. 4. It was obtained as a result of inverse dynamic analysis that the largest torque value was in the

second joint motor. Since the layout axis of the base motor is perpendicular to the surface, the first engine's torque requirement was less since the mass effect caused by gravity was negligible.

### 2.5 Simulation and Control Interface

We designed the simulation and control interface for any 6R manipulator. SolidWorks® is the design platform for the manipulator, and then the obtained model was transferred to Simulink by SimMechanics™ add-on as illustrated in Figure 5.

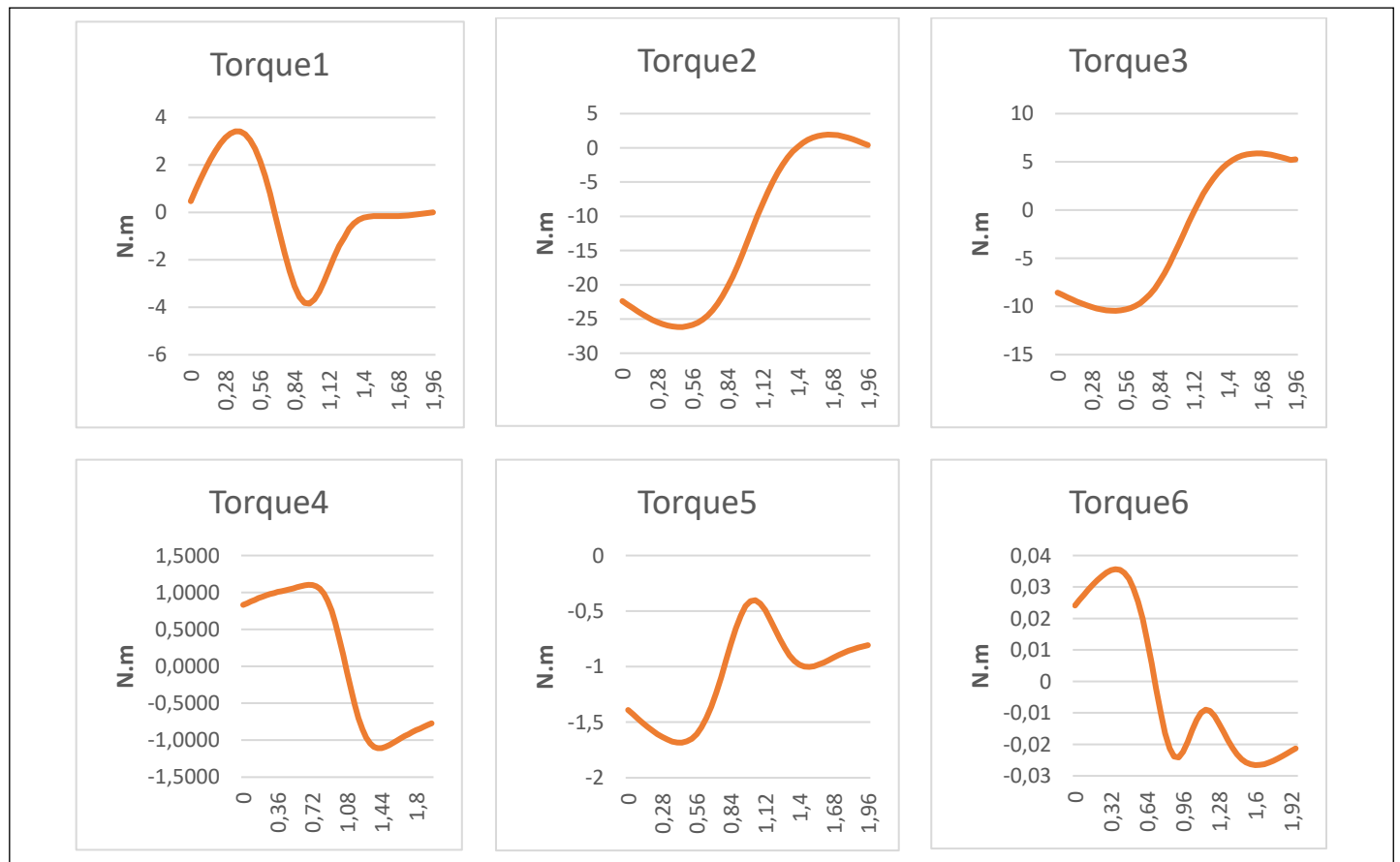


Figure 4 Calculated torque requirements for each actuator

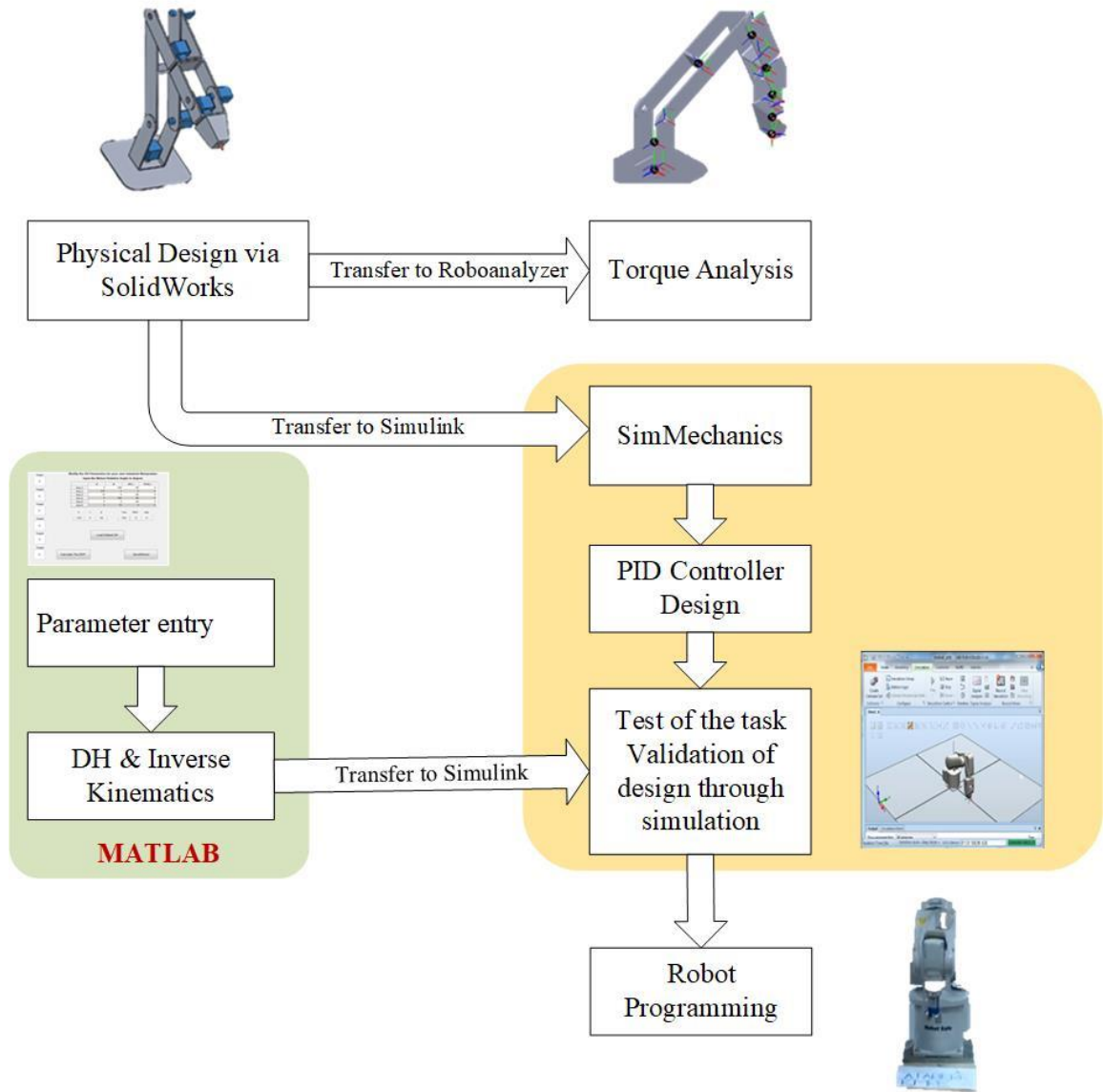


Figure 5 Scheme of the CAD programming and testing

For performing the real-time simulation of motion, we used PID control block, which uses the result of each kinematic calculation as an input. One separate controller was designed for each joint actuator that activates the revolution as shown in Fig. 6.

The response time and amplitude parameters of the simulation PID controller were changed to 0.05361s and 0.6 respectively, after auto-tuning for the smooth and stable motion of the 6R manipulator. Untuned response and tuned response for one joint actuator is shown in Figure 7a and Figure 7b, respectively.

Joint parameters entry is through the designed MATLAB Graphical User Interface (GUI) in Fig. 8 to facilitate the movement of the robot manipulator. The GUI was used to supply the target manipulators kinematic model over DH parameters, calculate forward or inverse kinematics and to send joint angular values the robot controller over TCP/IP.

### 2.3 Communication Method

We tested the simulation environment on ABB IRB120 manipulator via TCP/IP socket communication with the IRC5 server. In the standard internet protocol TCP, IP address is equipped with the socket address, which is the port number, and this type of communication is used to communicate with the IRC5 client server. The ABB IRC5 is a robot controller, which has a unique motion control feature and reliably follows the robot motion path as programmed through the application

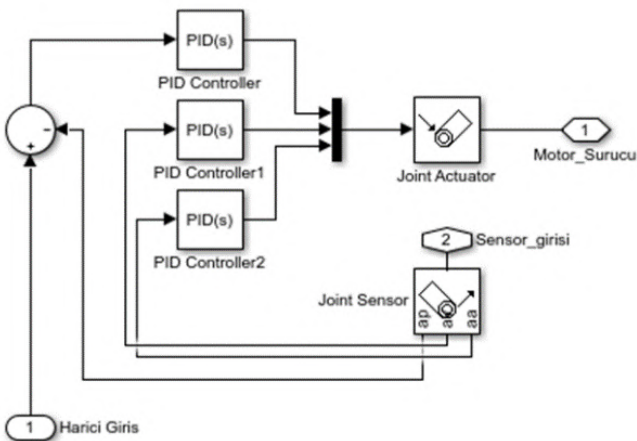
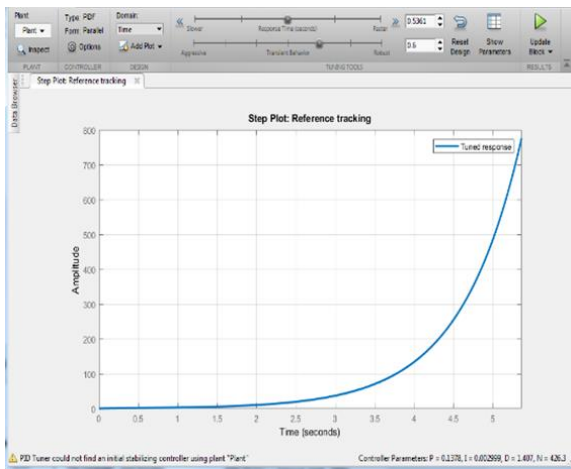


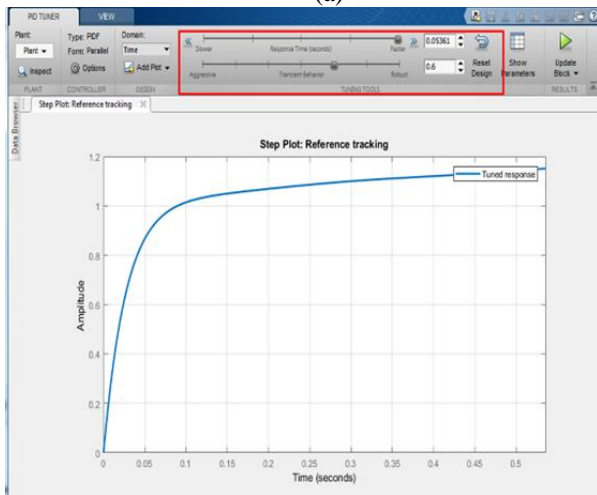
Figure 6 PID controller design for joint actuators



interfaces. Electronically linked motors in a robot control master/slave motor configuration actuate the main axes of the robot. Encoders give the exact angular position of each actuator. The IRC5 server is the motion controller (drive) part of the system that enables and positions the actuator via motor drives.



(a)



(b)

Figure 7 (a) Untuned response, (b) tuned response for the joint actuator.

Modify the DH Parameters for your own Industrial Manipulator  
Input the Motors Rotation Angle in degree

	ai	di	alpha <sub>i</sub>	theta <sub>i</sub>
Axis 1	0	290	-90	0
Axis 2	270	0	0	0
Axis 3	70	0	-90	0
Axis 4	0	302	90	0
Axis 5	0	0	-90	0
Axis 6	0	72	0	0

	X	Y	Z	Yaw	Pitch	Roll
	340	0	-84	180	-0	0

Buttons: Load Default DH, Calculate The EEP, Send2Robot

Figure 8 The designed GUI for joint parameters entry and socket communication.

The IRC5 is a multi-robot controller with PC tool support that optimizes the robot performance for short cycle times and precise movements. Communication is real-time, resulting in a continuous communication between PC and IRC5 (Server-

Client). Programming interface based on HTML5 communicates with robot from any device, regardless of the operating system. The computer manages the task control and robot simulation whereas IRC5 controller is free of computational complexity and only used for control of the motors. We programmed this server to receive the position and the angle data from the embedded MATLAB program codes and transmit to the motor drives. To send the calculated joint angles to the IRC5 controller for moving manipulator to the desired positions determined by user in the designed GUI in Figure 8, a client software was created with the RAPID programming language as shown in Figure 9 over pseudocode, and motion commands were processed simultaneously with the simulation environment. For any other manipulator belonging to different manufacturers which has the same 6R articulated form, the only requirement is just creating a client-side program with the controller's own robot programming language to receive TCP/IP socket messages by using the pseudocode in Figure 10.

```

Input: IP address and port to receive socket message
(192.168.125.1, 55000)
Start to listen socket and receive the allow to incoming
connections (Socketbind)
While (192.168.125.1, 55000 = no message)
    Keep waiting for the receiving message
End
    Send message to Server (MATLAB) to approve successful
communication
    Read string message sent by Designed GUI and convert
string to float numbers for joint angles
    Send message to Server (MATLAB) to finish successful
reading of socket messages
    Wait 50 ms and close the socket
    Move joints to received joint angles with MoveAbsJ
command of RAPID language
    
```

Figure 9 IRC5 Client TCP/IP socket Communication pseudocode

```

MODULE Mainmodule
    PERS tooldata withgripper:=[TRUE, [[0, 0, 103.2], [1, 0, 0, 0]], [0.1, [0, 0, 0.001], [1, 0, 0, 0], 0, 0, 0]];
    CONST jointtarget sifracilar:=[ [0,0,0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    VAR string receivedFromMatlab;
    VAR socketdev clientABB;
    VAR socketdev serverMATLAB;
    VAR rawbytes data;
    PROC main ()
        SocketCreate clientABB;
        SocketBind clientABB," 192.168.125.1",55000;
        SocketListen clientABB;
        SocketAccept clientABB, serverMATLAB;
        SocketSend serverMATLAB,{Str:="Communication
Established
        SocketReceive serverMATLAB,{Str:= receivedFromMatlab;
        MoveJ receivedFromMatlab,v150, fine, withgripper;
        SocketClose clientABB;
    ENDPROC
ENDMODULE
    
```

Figure 10 IRC5 Client Program in RAPID Language

### 3. Results and Discussion

The model-based design process for the generalized 6R articulated manipulator, which is widely used for painting, welding, and assembly operations, was carried out including kinematic and dynamic analysis. Functionality of the graphical interface obtained as a result of the model-based design has been tested for the IRB120 robot arm of ABB company as shown in Figure 11. In the tests carried out, the robot's DH parameters and

desired positions provided by the user through the designed GUI were used as inputs, and the robot was moved to randomly selected positions for various tasks. As an indicator of the successful performance of the designed interface, it has been seen that the same graphical outputs were obtained with RobotStudio, ABB's own simulation program, and physical robot arm successfully reached the desired positions and performed various tasks as shown in Figure 11.

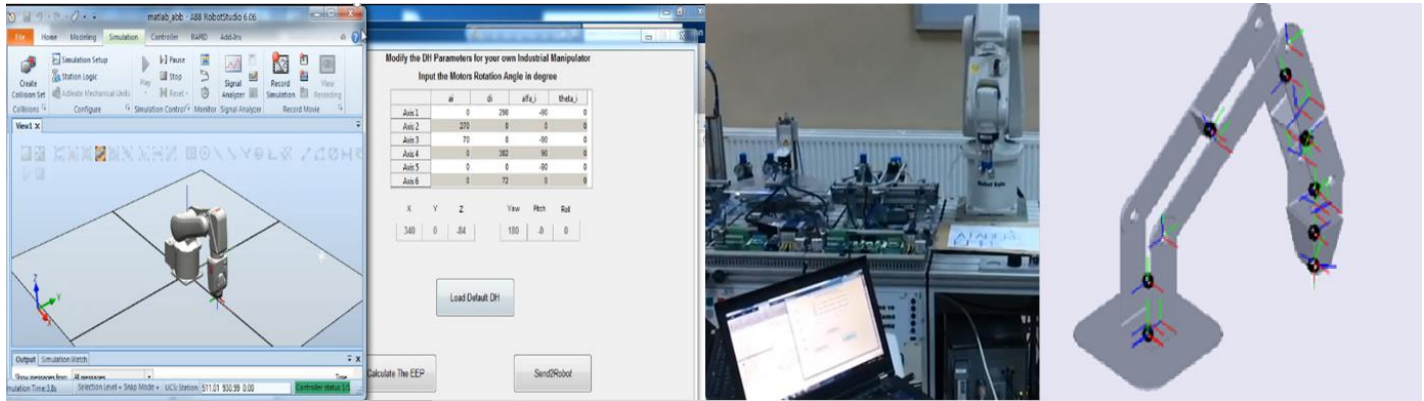


Figure 11 Observations of 6R manipulator over RobotStudio, Designed GUI and Physical Manipulator

### 4. Conclusions and Recommendations

Model-based design of the 6 DOF articulated robot arm, which is widely used in industrial applications like painting, welding and assembly operations, was carried out including material selection, kinematic analysis and dynamic analyzes for calculating torque requirements. Also, a simplified plate-based 3D model was created for the simulation and clear observation of the any robotic manipulator which has the same kinematic structure. The GUI obtained from the model-based design was tested over ABB IRB120 industrial manipulator. Calculated joint angular values for the desired position and tasks were sent to IRC5 robot controller over TCP/IP socket messages and handled various tasks. It has been shown on the physical robot that the developed interface and real-time tests worked successfully. The functionality of the developed control interface that can be applied to the robots in the same form, has been tested and verified with the applications performed with the IRB120 robot.

This study also showed that, in distance learning and remote task planning, only by writing client-side software for the robot controller in manufacturer's own language to accept TCP/IP socket messages, the control of the kinematic calculation and motion planning accuracy of the users and whether they perform the specified tasks can be observed without the need for any other software.

### References

- Alkan, M. A. (2018). Karanlık Fabrikalar ile İnsansız Üretim. *Endüstri 4.0*. <https://www.endustri40.com/karanlik-fabrikalar-ile-insansiz-uretim/>
- Baizid, K., Ćuković, S., Iqbal, J., Yousnadj, A., Chellali, R., Meddahi, A., Devedžić, G., & Ghionea, I. (2016). IROSim: Industrial Robotics Simulation Design Planning and Optimization platform based on CAD and knowledgeware technologies. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 42, 121–134. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2016.06.003>

- Banka, N., & Lin, Y. J. (2003). Mechanical design for assembly of a 4-DOF robotic arm utilizing a top-down concept. *Robotica*, 21(5), 567–573. <https://doi.org/10.1017/S0263574702004848>
- Brogårdh, T. (2009). Robot control overview: An industrial perspective. In *Modeling, Identification and Control* (Vol. 30, Issue 3, pp. 167–180). <https://doi.org/10.4173/mic.2009.3.7>
- Craig, J. J. (2005). *Introduction to Robotics Mechanics and Control* (A. Dworkin, Ed.; 3rd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Denavit, J., & Hartenberg, R. (1955). A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices. *ASME Journal of Applied Mechanics*, 22, 215–221.
- Gil, A., Reinoso, O., Marin, J. M., Paya, L., & Ruiz, J. (2015). Development and deployment of a new robotics toolbox for education. *Computer Applications in Engineering Education*, 23(3), 443–454. <https://doi.org/10.1002/cae.21615>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2016-March, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Jones BE, F. J. (1990). *Modelling, Simulation and Identification of an Industrial Manipulator*. Dublin City University.
- Mikkelsen, J. (1998). *A machine vision system controlling a Lynx arm robot along a path*. University of Cape Town, South Africa.
- Mourtzis, D., Fotia, S., Boli, N., & Vlachou, E. (2019). Modelling and quantification of industry 4.0 manufacturing complexity based on information theory: a robotics case study. *International Journal of Production Research*, 1–14. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1571686>
- Neto, P., Mendes, N., Arajo, R., Pires, J. N., & Moreira, A. P. (2012). High-level robot programming based on CAD: Dealing with unpredictable environments. *Industrial Robot*, 39(3), 294–303. <https://doi.org/10.1108/01439911211217125>
- Niku, S. B. (2001). *Introduction to Robotics: Analysis, Systems, Applications* (1st ed.). Prentice Hall.
- Rajeevlochana, C. G., Jain, A., Shah, S. V., & Saha, S. K. (2011). Recursive Robot Dynamics. In S. Bandopadhyay, S.

- Gurunathan, & P. Ramu (Eds.), Introduction to Robotics (pp. 1–9). Narosa Publishing House, New Delhi.
- Rajeevlochana, C. G., & Saha, S. K. (2011, February). RoboAnalyzer: 3D model based robotic learning software. In International Conference on Multi Body Dynamics (pp. 3–13).
- Sanfilippo, F., Hatledal, L. I., Zhang, H., Fago, M., & Pettersen, K. Y. (2015). Controlling Kuka Industrial Robots: Flexible Communication Interface JOpenShowVar. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 22(4), 96–109. <https://doi.org/10.1109/MRA.2015.2482839>
- Schou, C., Damgaard, J. S., Bogh, S., & Madsen, O. (2013). Human-robot interface for instructing industrial tasks using kinesthetic teaching. 2013 44th International Symposium on Robotics, *ISR* 2013, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ISR.2013.6695599>
- Udai, A. D., Rajeevlochana, C. G., & Saha, S. K. (2011). Dynamic Simulation of a KUKA KR5 Industrial Robot using MATLAB SimMechanics. 15th National Conference on Machines and Mechanisms, 96, 1–8.



# İnsansız Su Altı Aracındaki İtici Motorda Kullanılması Planlanan Bir Pervanenin Serbest Titreşim Karakteristiğinin İncelenmesi

Talha Gülgün<sup>1\*</sup>, İsmail Yalçınkaya<sup>2</sup>, Mertcan Erdoğan<sup>3</sup>, Akif Durdu<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4896-8611), talhagulgunn@gmail.com

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6567-399X), ismailyalcinkaya96@gmail.com

<sup>3</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4613-8729), mrtcn7899@gmail.com

<sup>4</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5611-2322), adurdu@ktun.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 16 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 29 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010720)

**ATIF/REFERENCE:** Gülgün, T., Yalçınkaya, İ., Erdoğan, M. & Durdu, A. (2021). İnsansız Su Altı Aracındaki İtici Motorda Kullanılması Planlanan Bir Pervanenin Serbest Titreşim Karakteristiğinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 870-873.

## Öz

Kendi kendini yönetebilen insansız araçlara; sanayi, sağlık sektörü, savunma sanayi gibi birçok sektörde, insan gücünün kullanılmasının tehlikeli veya imkânsız olduğu durumlarda ihtiyaç giderek artmıştır. İnsansız sualtı araçları, üzerinde herhangi bir operatöre ihtiyaç duymadan çeşitli sualtı görevlerini yerine getirebilen sualtı robotlarıdır. Robot kol, kamera gibi araçlar ile görevlerde daha aktif rol oynamak için donatılmış olabilirler. Göreve bağlı olarak, araca monte edilen sensörler ile birlikte de hassas sonuçlar elde ederek görevde başarı oranı artırılabilir. Bununla birlikte, insansız sualtı araçlarının tümü, otonom seviyesi ne olursa olsun ülkelerin sualtı misyonları için önemli bir rol oynamaktadır. İnsansız sualtı araçlarının en önemli sistemlerinden bir tanesi de itki sistemidir. Pervane sistemleri ise su altı ve su üstü araçların sevk edilmesinde yararlanılan önemli bir itki sistemi elemanıdır. Kullanım alanına göre farklı niteliklerde olabilmektedir. Kullanılan pervane, görevleri istenilen performansta uygulanabilir şekilde olması ve yakıt tüketimini düşürmesinin yanı sıra kontrollü bir seyirin sağlanabilmesi adına da çok önemli olmaktadır. Bu çalışmada, insansız sualtı aracı itki sistemi elemanı olan pervanenin serbest titreşim frekansı araştırılarak, çalışma aralığında rezonansla karşılaşılma ihtimali incelenecektir. PLA malzemesinde imal edilen pervane, ANSYS programı structural analysis modülünde maksimum çalışma devri göz önünde bulundurularak bir ön gerilmeye tabi tutulmuştur. Ardından modal modülünde ise çalışma devri sonucu meydana gelen titreşim frekansı, serbest titreşim frekansı ile karşılaştırılıp rezonans durumu incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İnsansız Su Altı Aracı, İtki Sistemi, Pervane, Rezonans, Serbest Titreşim Karakteristiği.

## Investigation of the Free Vibration Characteristic of a Propeller Planned for Use in a Thruster in an Unmanned Underwater Vehicle

### Abstract

The need for self-driving unmanned vehicles has increased in many sectors such as industry, health sector, defense industry, where the use of manpower is dangerous or impossible. Unmanned underwater vehicles are underwater robots that can perform various underwater tasks without the need for any operators on them. They can be equipped to play a more active role in tasks with tools such as a robotic arm, camera. Depending on the task, the success rate of the task can be increased by achieving precise results together with the sensors installed in the vehicle. However, all unmanned underwater vehicles, regardless of their autonomous level, play an important role for countries' underwater missions. One of the most important systems of unmanned underwater vehicles is the propulsion system. Propeller systems, on the other hand, are an important element of the propulsion system that is used in the dispatch of underwater and above-water vehicles. It may have different qualities depending on the area of use. The propeller used is very important for its tasks to be applicable at the desired performance and to reduce fuel consumption, as well as to ensure a controlled course. In this thesis, the free vibration frequency of the unmanned underwater vehicle propeller, which is the propulsion system element, will be investigated. And the possibility of experiencing resonance during the study will be examined. Manufactured in PLA material, the propeller was subjected to a pre-stress in the structural analysis module of the ANSYS program, taking into account the maximum operating speed. Then, in the modal module, the frequency of vibration consisting of the working cycle was compared with the frequency of free vibration and the resonance state was examined.

**Keywords:** Free Vibration Characteristic, Propulsion System, Propeller, Resonance, Unmanned Underwater Vehicle.

\* Sorumlu Yazar: talhagulgunn@gmail.com



## 1. Giriş

İnsansız su altı araçları, boyut ve işlev olarak, sadece izleme amaçlı su altı kameraları vasıtasıyla görüntü almaya ve bazı ölçümler yapmaya yönelik, nispeten küçük ve basit araçlar olabileceği gibi, üzerlerinde yer alacak pek çok sensör, kamera, sonar vb. yardımıyla büyük oranda otonom çalışma yetkinliğine sahip, manipülatörler kullanarak oldukça karmaşık işlevleri yerine getiren büyük sistemler de olabilmektedir (Budiyono, 2009; Canlı et al.; Cevheri, 2009; Gülgün et al., 2020).

Özellikle iş sınıfı insansız su altı aracı olarak adlandırılan, aslen insansız su altı iş makineleri olarak düşünülebilecek olan araçlar, 250 m ile sınırlı olan insanlı dalışların kısıtlarını ve tehlikelerini bertaraf etmekte, 3000 m' yi aşan derinliklerde çok zor bir takım inşa, bakım görevlerini yerine getirebilmektedir (Boehm et al., 2018; Canlı et al.; Kumar et al., 2018; Gülgün et al., 2020).

Küçük ve basit araçlardan, iş sınıfı insansız su altı aracı olarak adlandırılan araçlara kadar olan tüm robotlarda ise itki sisteminin elamanı olan pervaneler oldukça önem taşımaktadır. Pervaneler su altı ve su üstü taşıtlarının yönlendirilmesinde yararlanılan, araçlara istenilen hareket ve yol alma olanağı tanıyan itki elemanları olup kullanıldıkları yerlere göre birçok çeşitleri bulunmaktadır. Bazı sistemlerde sessizlik isteri ön planda tutulurken, bazı durumlarda hızlı manevra veya yüksek hız isterleri öncelikli olabilmektedir (Canlı et al.).

Pervane tasarımının istenilen işlevi yerine getirebilmesi için tasarım süreci çok önemlidir. Yakıt tüketiminin en az düzeye çekilebilmesi, taşıt sistemi manevralarının istenilen düzeyde olması doğru bir pervane tasarımı sonucunda gerçekleşebilmektedir. Pervane tasarımı için başvurulmuş birçok yöntem olmakla birlikte, pervane beceri ve veriminin yükseltilmesi öncelikli hedeflerden bazılarıdır.

Bu çalışmada; arama-kurtarma, keşif vb. görevlerde kullanıma uygun insansız su altı aracında kullanılması planlanan bir pervanenin serbest titreşim karakteristiği incelenecek olup çalışma sırasında rezonans durumu araştırılacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

Mühendislikte kullanılan elemanların statik ve dinamik kuvvetlere maruz kaldıklarında, bu kuvvetlere verecekleri tepkiler oldukça önemlidir. Bu tepkilerin incelenmesi için öncelikle serbest titreşim karakteristiklerinin öğrenilmesi gerekmektedir. Serbest titreşim karakteristiğinin öğrenilmesi, yapının hangi titreşim frekansında hangi mod şekliyle karşılaşacağını öğrenilmesi anlamına gelmektedir. Yapının maruz kaldığı kuvvetlerin frekansı ile serbest titreşim frekanslarının karşılaştırılması ise rezonans olayı açısından önemli olacaktır (Şekerci, 2013).

Yapının denge konumu etrafında tekrarlanması titreşim hareketi olarak tanımlanabilmektedir. Dinamik yükler etkisinde çalışan sistemlerde de tekrarlı bir hareket olan titreşim hareketi meydana gelmektedir. Mekanik titreşimler, mühendislik yapılarının birçoğunda önemli problemleri açığa çıkarabilmektedir. Uzun süreli titreşimler makine elemanının yorulmasına neden olabileceği gibi yüksek genlikteki titreşimler de hasar ve kırılmalara neden olabilmektedir. Bu nedenle endüstride kullanılan birçok yapının dinamik yükler etkisi altında nasıl bir davranış gösterdiği, sistemin güvenli bir şekilde

çalışması ve performansı açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla incelenen yapının doğal frekansları, yapısal sönümü ve titreşim biçimleri elde edilerek gerekli dinamik analizler yapılmalıdır (Alarcin et al., 2012; Güngör, 2013; Kumar et al., 2018).

Titreşim analizinin yapılması ile yapının doğal titreşim frekansları bulunmuş olur. Yapıya uygulanan periyodik bir kuvvetin frekansı, bu doğal frekanslardan herhangi birisi civarında ise, bu frekans uyarılmış olur ve yapı bu doğal frekans ve şekli ile titreşmeye başlar. Eğer uyarıcı kuvvetin frekansı ile yapının doğal frekansı çakışır ise "rezonans" olayı meydana gelir (Er, 1998).

Rezonans, dinamik bir kuvvet etkisinde zorlanmış titreşimler yapan bir yapının doğal frekansı ile zorlamanın frekansının eşit olmasına sebep olmaktadır. Bu durumda yapının titreşim genliği artma eğilimine girmektedir. Bu genlik artışı sistemin düzgün çalışmasını engellediği gibi, onun hasara uğramasına da neden olabilmektedir (Er, 1998).

Deniz araçlarında aracın kontrolü ve idamesinin sağlanması amacıyla itki sistemi kullanılır ve çoğunlukla pervaneler itki sistemi içerisinde kritik rol oynar (Hara et al., 2011; Vardhan et al., 2019). Gemi, denizaltı, insanlı - insansız su altı araçları olarak sıralanabilen deniz araçlarında çoğunlukla pervane malzemesi gelenekselleşen yöntem olarak belirtilebilecek nikel alüminyum bronz (NAB) ve mangan alüminyum bronz (MAB) alaşımları kullanılmaktadır. Bu malzemelerin kullanılmasının avantajlarının bulunmasının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. Malzeme maliyetinin düşük, yüksek rijitlik, akma dayanımının yüksek ve korozyona karşı yüksek direnç göstermeleri avantajları olarak gösterilmektedir. Pervane biçiminden dolayı yüksek işleme maliyeti, üretim aşamasının uzun olması, çalışma esnasında ses oluşumuna neden olması ve titreşim özelliği göstermesi ise dezavantajları olarak gösterilmektedir. Pervanelerde kullanılacak alternatif malzemeler olarak ise paslanmaz çelik, titanyum alaşımı ve kompozit malzemeler gösterilebilir. (Mouritz et al., 2001; Samsul; Vardhan et al., 2019).

Araştırmada kullanılan pervanenin malzemesi PLA filament olarak seçilmiştir. Bu malzeme seçilmesinin nedeni üzerinde kullanılacak olan insansız su altı aracının boyut ve ağırlık bakımından küçük olmasıdır. PLA Filament malzemesi kullanılarak 3 boyutlu yazıcı yardımıyla düşük maliyete ve kısa sürede temin edilmesinin yanı sıra istenilen pervane biçimi verilmiş ve fazla ağırlıktan kaçınılmıştır.

Sualtı görevlerinde kullanılmak üzere özgün su altı aracı ve pervane tasarımı gerçekleştirilmiştir. Araçta kullanılan motor pervanelerinin analizi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak Ansys programında gerçekleştirilmiştir. Programda pervanenin yapısal davranışını incelemek, ayrıca ön gerilme değeri eklemek amacıyla static structural modülü kullanılmıştır. Ön gerilme sonucu oluşan kuvvetle birlikte meydana gelen titreşim karakteristiğini görmek için modal modülü static structural modülüne bağlanmış ve modal analiz sonucu ortaya çıkan sonuçlar incelenmiştir.

Pervaneler ilk olarak ön gerilme yüklemesi amacıyla statik analize tabi tutulmuş olup ardından modal analiz ile serbest titreşim karakteristiği incelenmiştir. Ön gerilme olarak 3600 rpm rotasyonel hız değeri olarak analize tanımlanmıştır. Girilen değer, araçta kullanılan fırçasız motorun planlanan maksimum çalışma devridir. Modal analize aktarılan bu girdiden başka

hiçbir girdi kullanılmamış, sadece rotasyon kuvvetinden meydana gelebilecek titreşimler araştırılmıştır. Modal analizde 6 adet mod durumu çözdürülmüştür. Ansys programında varsayılan olarak karşımıza gelen bu 6 adet mod miktarı çalışmanın sonuçlarını görebilmek bakımından yeterliliğine karar verilmiştir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Modal analizde çözdürülen modlardan kritik olanı ilk moddur ve değeri 846,56 Hz'dir. İlk modun kritik olmasının nedeni ise ilk modda oluşan değerlerin yapının rezonansa girdiği andaki değer olmasıdır. Pervaneye gelen 6 adet mod değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Oluşan mod değerleri

Mode	Frequency (Hz)
1	846,56
2	870,63
3	895,53
4	2168,9
5	2198,4
6	2308,4

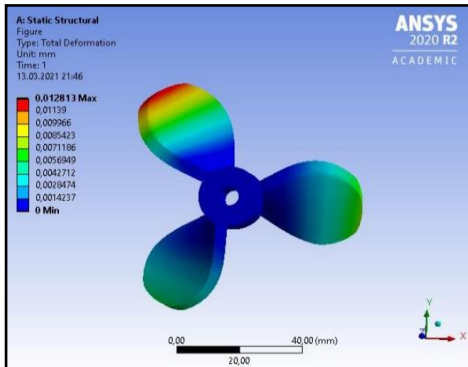
Bu modların pervanede oluşturduğu etkileri daha iyi anlamak için frekans olan değerlerin devire (rpm'e) dönüştürülmesi yararlı olacaktır. Denklem 1'de kritik olan ilk mod durumundaki hertz değerinin rpm değerine dönüşümü gösterilmiştir.

$$1 \text{ Hertz} = 60 \text{ RPM} \quad (1)$$

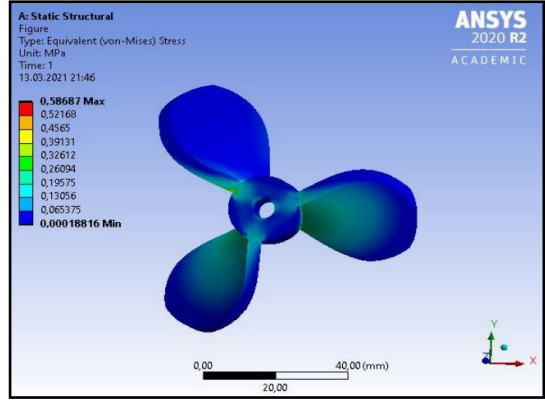
$$\text{RPM} = 60 \times 846,56$$

$$\text{Rezonans anındaki RPM değeri} = 50793,6$$

Hesaplama sonucunda iticide kullanılan pervane 50793,6 devire ulaştığı zaman rezonansa girip pervane yapısına bozulmalar meydana gelecektir. 50793,6 değeri planlanan çalışma değeri olan 3600 devirin çok üzerinde olduğundan dolayı pervanenin çalışma aralığında rezonans durumu görülmemiştir. Rezonans durumunun olmadığı gözlemlenmişse de 3600 devirde çalıştırılan pervanenin bu devirde plastik deformasyona uğrayıp uğramayacağı da incelenmiştir. İncelemeye devam edilmesinin nedeni, yapının rezonansa uğramadan önce malzeme özelliklerinden dolayı akmaya uğrama ihtimali olmasıdır. Static structural modülünde yapısal karakteristikleri çözdürülen pervanenin, oluşan deformasyon değeri Şekil 1'de, pervanede meydana gelen stres değeri ise Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Pervanede oluşan deformasyon miktarı

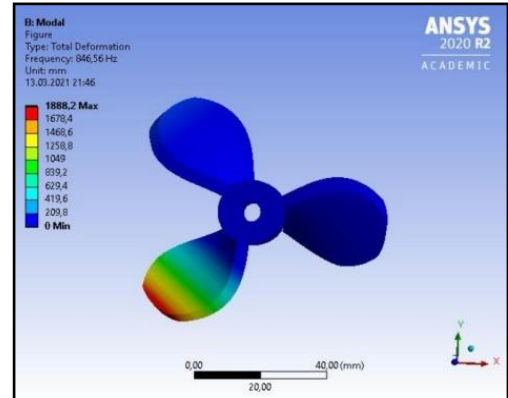


Şekil 2. Pervanede oluşan stres miktarı

Pervanede meydana gelen maksimum stres değeri 0,58 N/mm (MPa), pervanede kullanılan PLA malzemesinin akma mukavemeti ise 70 N/mm (MPa) dır. Oluşan maksimum stres değeri, akma mukavemetinin altında olduğundan dolayı pervanenin deformasyona uğramayacağı gözlemlenmiştir. Deformasyon miktarı açısından inceleniğinde de yapı için herhangi bir problem teşkil etmemektedir.

Şüphesiz ki titreşim karakteristiğinin tasarım sürecinde incelenmesi zaman ve maliyet açısından avantaj sağladığı görülmektedir. Rezonans durumuna rastlanması sonucunda meydana gelebilecek yüksek deformasyon miktarı da bunu desteklemektedir.

Kullanılan pervanelerin rezonans anında sergileyeceği tepki incelenmek istenmiş ve rezonansa girdiği değer olan 50793,6 devirde analiz tekrar çözdürülmüştür. Rezonans durumunun oluşması ile ortaya çıkan deformasyon miktarı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Rezonans anında oluşan yer değiştirme miktarı

Şekil 3'te görüldüğü üzere rezonans anında oluşan yer değiştirme miktarı 1888,2 mm hesaplanarak oldukça yüksek miktara erişmiştir.

Rezonans anında oluşan yer değiştirme miktarı ile maksimum çalışma devrinde oluşan yer değiştirme miktarı karşılaştırıldığında; rezonans anında oluşan yer değiştirme miktarının 147365,95 kat daha büyük olduğu görülmektedir. Bir yapının rezonansa girdiği zaman oluşan yer değiştirme miktarlarının, normal çalışma zamanlarında oluşan yer değiştirme miktarlarının çok çok üzerinde çıkacağı bilinmektedir. Yapılan bu modal analiz sonucunda oluşan ilk frekans değerinin, mod

değerinin, bu kadar büyük bir değer çıkması çözdürülen analizi doğrular niteliktedir.

Bu çalışmadan elde edilecek sonuçlar, mühendislik alanında bilime hizmet etmek isteyen mühendis ve mühendis adayları tarafından kullanılabilir özelliğine sahiptir. Su altı sistemlerinde kullanılmak üzere tasarlanacak olan insanlı – insansız su altı araçlarının, üzerlerinde bulunan itici motorların önemli bir parçası olan pervane tasarımı aşamasında yapının serbest titreşim karakteristiğinin incelenmesi konusunda yol gösterici durumda bulunmaktadır. Tasarlanan yapının çalışma aralığında rezonansa girip girmeyeceği, hangi çalışma aralığında rezonansa gireceği ve rezonans anında yapının sergileyeceği karakter hakkında okuyucuya bilgi sahibi edinmesini sağlayacaktır.

#### 4. Sonuç

Arama-kurtarma, keşif vb. görevlerde kullanılacak insansız su altı aracında, itici motorda kullanılması için tasarlanan bir pervanenin serbest titreşim karakteristiği Ansys programı yardımı ile elde edilmiştir. Yine Ansys programı yardımı ile pervaneye etki eden kuvvetin meydana getirdiği titreşim frekans değeri de elde edilmiştir.

Elde edilen bu değerler karşılaştırılmış ve rezonans durumundaki çalışma devrinin, planlanan çalışma devrinin çok üzerinde oluşması yapının rezonansa uğramayacağı anlamına gelmektedir. Ansys programı kullanılarak belirli bir açılma hızı ile çalışan pervanenin deformasyona uğrayıp uğramadığı kontrol edilmiştir. Sonuç olarak; yapılan tüm incelemelerin ardından insansız sualtı aracında kullanılacak olan pervanede herhangi bir olumsuz sonuca rastlanmamıştır ve pervanenin çalışma aralığında sorunsuz bir şekilde görevlerini yerine getireceği anlaşılmıştır.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Konya Teknik Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Babür Özçelik'e, aracın üretimi sırasında sponsorluk anlamında desteklerini esirgemeyen Robotik Otomasyon ve Kontrol Laboratuvarı (rac-lab.com)'na, T3 Vakfına, Kapsül Teknoloji Platformu'na; bu çalışmanın ortaya çıkmasında emeği geçen tüm saygıdeğer hocalarımıza ve personele bizlere verdikleri sonsuz desteklerinden dolayı teşekkürü borç biliriz.

#### Kaynakça

- Alarcin, F., & Korkmaz, F. C. (2012). Vibration analysis of ship main engine and shaft system. *Journal of Engineering and Natural Sciences, Sigma*, 3, 310-319.
- Boehm, J., Berkenpas, E., Henning, B., Rodriguez, M., Shepard, C., & Turchik, A. (2018). *Characterization, modeling, and simulation of an ROV thruster using a six degree-of-freedom load cell*. Paper presented at the OCEANS 2018 MTS/IEEE Charleston.
- Budiyono, A. (2009). Advances in unmanned underwater vehicles technologies: Modeling, control and guidance perspectives.
- CANLI, G. A., kurtoğlu, İ., Canlı, M. O., & Tuna, Ö. S. *Dünyada ve ülkemizde insansız sualtı araçları isaa-avv & rov tasarımı ve uygulamaları. Gidb dergi*(04), 43-75.

- Cevheri, N. (2009). *Computer aided engineering of an unmanned underwater vehicle*.
- Er, Y. (1998). Gemi pervanelerine etkileyen hidrodinamik yüklerin bulunması ve gerilme analizinin yapılması.
- Gülgün, T., Alankaya, G., Duran, M. E., Erdoğan, M., DURDU, A., YALÇINKAYA, İ. S., & Terzioğlu, H. (2020). Analysis of the Effect on the Thrust Force as a Result of Positioning Thrusters at Different Angles in Underwater Vehicles in CAD Environment. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 357-362.
- Gülgün, T., Alankaya, G., Duran, M. E., Erdoğan, M., Yalçinkaya, İ., Durdu, A., & Terzioğlu, H. (2020). Low-Cost Unmanned Underwater Vehicle Design. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 363-367.
- Güngör, E. (2013). *Hesaplama Akışkanlar Dinamiği Kullanılarak Su Altı Araçları İçin Pervane Tasarımı Ve Analizi*. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hara, Y., Yamatogi, T., Murayama, H., Uzawa, K., & Kageyama, K. (2011). *Performance evaluation of composite marine propeller for a fishing boat by fluid-structure interaction analysis*. Paper presented at the 18th international conference on composite materials, Jeju Island, Korea.
- Kumar, G. S., Painumgal, U. V., Kumar, M. C., & Rajesh, K. (2018). Autonomous underwater vehicle for vision based tracking. *Procedia computer science*, 133, 169-180.
- Mouritz, A. P., Gellert, E., Burchill, P., & Challis, K. (2001). Review of advanced composite structures for naval ships and submarines. *Composite structures*, 53(1), 21-42.
- Samsul, B. Structural Analysis of a Composite Marine Propeller by Finite Element Method.
- Şekerci, H. U. (2013). *Bir Hava Aracı Komponentinin Dinamik Karakteristiklerinin Teorik Ve Deneysel Modal Analiz Metoduyla Belirlenmesi*. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Vardhan, D. H., Ramesh, A., & Reddy, B. C. M. (2019). A review on materials used for marine propellers. *Materials Today: Proceedings*, 18, 4482-4490.



# Detection of pH and Urea with an Extended Gate Field-Effect Transistor-Based Microsensor

İpek Avcı<sup>1</sup>, Merve Oğuz<sup>2</sup>, Mustafa Şen<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Izmir Katip Celebi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Biomedical Engineering Graduate Program, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4782-4421), ipekavci35@gmail.com

<sup>2</sup> Izmir Katip Celebi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Biomedical Engineering Graduate Program, Izmir, Turkey,, (ORCID: 0000-0002-7999-0005), merveoguz345@gmail.com

<sup>3\*</sup> Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Biomedical Engineering, İzmir, Turkey (ORCID: 0000-0002-2421-9184), mustafa.sen@ikc.edu.tr

(First received 19 October 2021 and in final form 7 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012049)

**ATIF/REFERENCE:** Avcı, İ., Oğuz, M. & Şen, M. (2021). Detection of pH and Urea with an Extended Gate Field-Effect Transistor-Based Microsensor. *European Journal of Science and Technology*, (31), 874-880.

## Abstract

Extended gate field-effect transistor-based (EGFET) microsensors have been developed for highly sensitive detection of pH and urea. EGFET was made by integrating with a microelectrode. Briefly, the EGFET-based pH microsensor was developed by modifying the surface of a microelectrode with polypyrrole (PPy) via electropolymerization and integrating it with a small, simple, and inexpensive metal oxide semiconductor field-effect transistor (MOSFET). As for the EGFET-based urea microsensor, urease enzyme was immobilized in PPy. The measurements of pH and urea were made in solutions at different pH values and the urea concentrations, respectively. The results showed that the pH microsensor had a very good sensitivity of 67 mV/pH in a pH range of 5-12. Similarly, the EGFET-based urea microsensor showed a linear response range of  $10^{-9}$  to  $10^{-5}$  M urea with sensitivities of 35.5 mV/decade urea and 10  $\mu$ A/decade urea. The reported EGFET-based pH and urea microsensors have great potential for use in the biomedical field, especially in applications where local analysis is required.

**Keywords:** EGFET, pH, urea, urease, polypyrrole, electropolymerization, microsensor

## Genişletilmiş Kapı Alan Etkili Transistör Tabanlı Mikrosensör ile pH ve Üre Tespiti

### Öz

pH ve ürenin yüksek hassasiyette tespiti için genişletilmiş kapı alan-etkili transistör tabanlı (EGFET) mikrosensörler geliştirilmiştir. EGFET, bir mikroelektrot ile entegre edilerek oluşturulmuştur. Kısaca, EGFET-tabanlı pH mikrosensörü, mikroelektrot yüzeyine elektropolimerizasyon yoluyla polipirol (PPy) modifiye edilerek ve buna küçük, basit ve ucuz yarı iletken metal oksit alan etkili transistör (MOSFET) entegre edilmesiyle geliştirilmiştir. EGFET-tabanlı üre mikrosensöründe ise, üreaz enzimi PPy içerisine mobilize edilmiştir. pH ve üre ölçümleri sırasıyla farklı pH değerlerine ve üre konsantrasyonlarına sahip solüsyonlarla yapılmıştır. Sonuçlar pH mikrosensörünün pH 5-12 aralığında 67 mV/pH gibi çok iyi bir hassasiyete sahip olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, EGFET-tabanlı üre mikrosensörü, 35.5 mV/decade üre ve 10  $\mu$ A/decade üre hassasiyetleriyle birlikte  $10^{-9}$  -  $10^{-5}$  M üre aralığında doğrusal bir yanıt gösterdi. Bildirilen EGFET pH ve üre mikrosensörleri, biyomedikal alanda, özellikle yerel analizin gerekli olduğu uygulamalarda kullanım için büyük potansiyele sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** EGFET, pH, üre, üreaz, polipirol, elektropolimerizasyonu, mikrosensör

\*Corresponding Author: mustafa.sen@ikc.edu.tr

<http://dergipark.gov.tr/ejosat>



## 1. Introduction

pH defined as a logarithmic measure of hydrogen ion concentration is a basic analytical measure of the mechanism of chemical or biological reactions (Li et al., 2020, Şen et al., 2016). Proper measurement and control of pH is essential for many industrial applications and living organisms due to its relevance to many chemical and biochemical processes (Vonau & Guth, 2006). For example, urea, acetylcholine, and L-arginine can be detected by sensing pH change (Fenoy et al., 2020). Among them, urea has taken great attention from researchers, and for detection of urea, many techniques have been improved. As a result of protein metabolism, ammonia is converted to urea in the kidneys and liver. Since urea is a product of protein metabolism, balancing it in the human body is important for renal health. The urea level is considered an important marker for monitoring kidney functions. Measuring urea for medical diagnosis can show malnutrition, renal functioning, increased catabolism of proteins, high protein diet, pregnancy, dehydration, inhibition in urinary system, shock, and stress (Jakhar et al., 2018). The urea level in a healthy human should be in the range of 8-20 mg/dL (Ahuja et al., 2008).

Ion sensitive field-effect transistor (ISFET) is a special type of metal oxide semiconductor field-effect transistor (MOSFET) and used for measuring ion concentration. The metal gate of MOSFET is replaced by an ion-sensitive membrane, electrolyte solution, and a reference electrode in ISFET. The working principle of ISFET is based on change in current caused by a change in ion concentration. The advantages of ISFET are low power consumption, low cost, ease of operation, small size, fast response time, significant durability, easy storage, and lower temperature dependence (Avolio et al., 2020). In addition, ISFETs are highly sensitive, and can potentially be miniaturized (Ghoneim et al., 2019). Despite the various advantages, ISFETs suffer from the need for reference electrodes, complex gate encapsulation procedures, and costly cleanroom processes (Mokhtarifar et al., 2019). As an alternative, extended gate field-effect transistor-based (EGFET) sensors have been intensively studied for chemical sensing including pH measurement (Pan et al., 2003). Unlike ISFET the sensing membrane of an EGFET-based sensor is placed away from the field-effect transistor (FET) device which has no direct contact with the chemical environment. The working principle of an EGFET-based sensor relies on the change in the response of the sensing membrane to varying concentrations of analytes. For example, the change in the conductivity of a sensing membrane such as polypyrrole (PPy) at different pHs modulates the potential applied through the gate and thus changes the electric current flowing between drain and source electrodes (Ghoneim et al., 2019). Physically separating the sensing membrane and protecting the gate region ensures that the activity of the target analyte makes an additional chemical contribution to the threshold voltage (Pullano et al., 2018). EGFET-based sensors possess advantages such as high transconductance, improved threshold voltage shift, stability, improved responsiveness, low noise, low mass production cost, and being disposable (Pullano et al., 2019).

In recent years, popularity of conducting polymers are increasing in the field of sensors due to their low cost, robustness, and versatility (Avolio et al., 2020). Conductive polymers offer a practical matrix, especially for the encapsulation of enzymes in a one-step procedure (Ahuja et al., 2008). Entrapment of enzymes

in conducting polymers not only increases the lifetime of the enzyme but also reduces the cost of measurement. Entrapment of enzymes in conducting polymers permits the localization of biologically active molecules on electrodes of different geometry/size and increases the possibility of precisely polymer coating over conductive microspheres with complex geometry (Ahuja et al., 2008; Cosnier & biotechnology, 2000). Entrapment of enzymes in conductive polymers can be achieved via chemical or electrochemical polymerization. Electropolymerization is often preferred due to its advantages such as better controllability of film thickness and morphology. The electropolymerization process takes place on the electrode surface by anodic oxidation of the corresponding monomer in the electrolyte solution.

PPy is a biocompatible conducting polymer and can be used as a sensing membrane in pH sensors. It has high chemical stability, easy oxidation, low monomer cost, high biocompatibility, very good thermal, mechanical and electrical properties (Vandana Bisht et al., 2005; Pandey et al., 2018). In addition, pyrrole (Py) monomer has the advantage of being easily oxidized, water-soluble, and commercially available (Sadki et al., 2000). There are many studies in the literature where PPy was applied to pH sensing. For example, Lakard et al. developed a potentiometric pH sensor based on PPy. The sensor had a quasi-linear response between pH 2 and 11 with a pH sensitivity of  $-51$  mV/pH (Lakard et al., 2007). In a similar study, the effect of PPy film thickness and scan rate on pH sensitivity was measured and the highest response slope was reported to be  $53.0$  mV/pH at a scan rate of  $25$  mV/s (Mo et al., 2003). In another work, Naser et al. designed an electrochemical flow cell pH sensor for aqueous solutions based on EGFET. Two different sensitivities were obtained on days 1 and 15 in the pH range of 8.00 to 10.80. The sensitivity on day 1 ( $52.31$  mV/pH) decreased to  $42.65$  mV/pH on day 15 (Mokhtarifar et al., 2019). PPy has also been applied for the electrochemical detection of urea. For example, Rajesh et al. designed a potentiometric urea biosensor by electrochemically preparing a conducting copolymer *poly(N-3-aminopropyl pyrrole-co-pyrrole)* (PAPCP) film onto an indium-tin-oxide (ITO) coated glass plate. The urease enzyme was covalently immobilized on the prepared polymer. In the study, both pH and urea measurements were carried out. The pH and urea sensitivity of the sensor were  $47$  mV/pH and  $27.5$  mV/decade urea, respectively (V Bisht et al., 2005). In a different study, a potentiometric urea biosensor was developed by electropolymerization of PPy, p-toluene sulphonic acid and BSA onto an ITO coated glass plate. The urease enzyme was covalently linked to the prepared conducting PPy. The sensor showed a linear response in the range of  $6.6 \times 10^{-6}$  to  $7.5 \times 10^{-4}$  M with a sensitivity of  $17.3$  mV/decade (Ahuja et al., 2008).

Here, a novel EGFET-based pH and urea microsensor was developed. Briefly, the microsensors were constructed by integrating PPy-modified microelectrode with a small, simple and inexpensive MOSFET. First, PPy was electrochemically deposited on a gold microdisk electrode as a sensing membrane for pH measurement. The electrochemical deposition of PPy was carried out in galvanostatic mode. After optimizing the deposition time, the sensor was tested in phosphate buffered saline (PBS) at various pHs. Next, urease enzyme was entrapped in PPy to construct an EGFET-based urea microsensor, which is new to the best of our knowledge. Results showed that the EGFET-based pH and urea microsensors detected pH and urea successfully with good sensitivity. The reported microsensors have great potential

for use in the biomedical field, especially in applications where local analysis is required.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials

Phosphate buffered saline (PBS) (Sigma-Aldrich, USA), sodium hydroxide (NaOH) (Sigma-Aldrich, USA), hydrogen chloride (HCl) (Sigma-Aldrich, USA), Py (Sigma-Aldrich, USA), lithium perchlorate (LiClO<sub>4</sub>) (Sigma-Aldrich, USA), perchloric acid (HClO<sub>4</sub>) (Supelco, USA), urea (Sigma-Aldrich, USA), urease (Sigma-Aldrich, USA), silver paste (Sigma-Aldrich, USA), n-type MOSFET (IRFZ44N, International Rectifier, USA)

### 2.2. Microchip fabrication

A glass slide was spin coated with S1818 positive photoresist at 2000 rpm for 30 sec. After prebaking, the photoresist was patterned via contact lithography. The exposed areas of the photoresist were removed using a developer solution (CD26, Microchem, USA). Titanium and gold films were sputtered on the glass slide with a patterned photoresist. Lastly, the remaining photoresist was removed using acetone to define the gold (Au) patterns of the microchip (Şen et al., 2013; Şen et al., 2012; Şen et al., 2014). Next, SU-8 photoresist was spin coated, prebaked and patterned using photolithography. After post baking, the unexposed regions were removed to define the diameter of the microdisk electrode (40 µm). Prior to use, the SU-8 layer was hard-baked at 180 °C for 30 min. A silver (Ag) electrode was printed on the microchip as a reference electrode using Ag paste.

### 2.3. PPy electropolymerization and pH detection with an EGFET-based pH microsensor

PPy solution was prepared using 0.2 M Py 0.2 M lithium perchlorate (LiClO<sub>4</sub>) and 0.1 M perchloric acid (HClO<sub>4</sub>). A two-electrode electrochemical cell was used for electropolymerization. Electropolymerization of the PPy solution was carried out in galvanostatic mode by applying a current of 0.1 µA to the working electrode (gold electrode) for different time intervals (1, 3, 4, 5 and 10 min) by potentiostat/galvanostat (PGSTAT204, Metrohm, Switzerland). The measurement capacity and characterization of the EGFET-based pH microsensors were performed in PBS solutions at varying pH values using a FET analysis unit (B2901A Precision Source/Measure Unit) (Aykaç et al., 2021). While the source and the drain of the n-type MOSFET were connected to the source and drain inputs of the FET analysis unit, the gate is connected to the EGFET-based pH microsensor. In order to make the measurement

more sensitive and stable, pH measurements were carried out using an Ag electrode printed on the microchip. PBS solutions at different pH (5.53 - 7.08 - 7.96 - 8.57 - 9.82 - 12.07) were used to determine the pH sensitivity of the EGFET pH microsensor. I<sub>DS</sub>-V<sub>GS</sub> curves were obtained by scanning the gate potential from 0 to + 2 V while applying a constant potential of + 0.5 V between the source and the drain electrodes. The effect of different time intervals on pH sensitivity was calculated.

### 2.4. PPy/urease electropolymerization and urea detection with an EGFET-based urea microsensor

A Py-urease solution was prepared by dissolving 4 mg of urease in 75 µl of PPy solution. Electropolymerization of the Py-urease solution was carried out in galvanostatic mode by applying a current of 0.1 µA for 180 seconds by potentiostat (Aydin & Şen, 2017). The sensor was tested in deionized water containing varying concentration of urea (10<sup>-9</sup> mol/L, 10<sup>-8</sup> mol/L, 10<sup>-7</sup> mol/L, 10<sup>-6</sup> mol/L, 10<sup>-5</sup> mol/L, 10<sup>-4</sup> mol/L, 10<sup>-3</sup> mol/L, 10<sup>-2</sup> mol/L, and 10<sup>-1</sup> mol/L). Both I<sub>DS</sub>-V<sub>GS</sub> and I<sub>DS</sub>-V<sub>DS</sub> curves were obtained. In the case of I<sub>DS</sub>-V<sub>GS</sub>, the potential applied to the gate was scanned from 0 to + 2 V, while a constant potential of + 0.5 V was applied between the source and the drain electrodes. As for the I<sub>DS</sub>-V<sub>DS</sub> curves, the potential applied to the drain was scanned from 0 to + 2 V, while a constant potential of + 0.5 V was applied between the gate and the source electrodes.

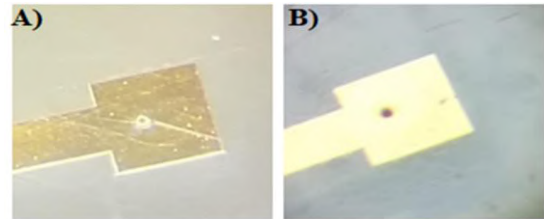


Figure 1. Optical images of an Au microelectrode before (A) and after electropolymerization of PPy/urease (B).

## 3. Results and Discussion

PPy is a biocompatible conducting polymer and can be used as a sensing membrane in pH sensors. Basically, PPy was electrochemically deposited on an Au microelectrode for high sensitive detection of pH which was then applied for the detection of urea. Microelectrodes have several advantages over traditional macroscale electrodes, e.g. fast response, high current density, high signal-to-noise ratio, low I-R drop, small double layer capacitance.

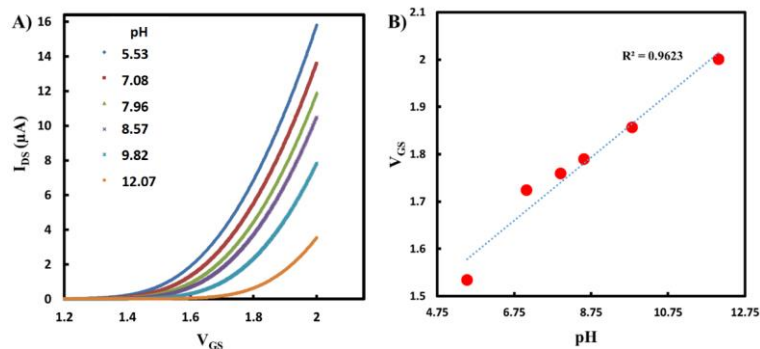


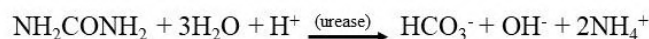
Figure 2. I<sub>DS</sub>-V<sub>GS</sub> curves obtained at varying pH values (A) and a calibration curve based on a constant I<sub>DS</sub>.

Microelectrodes are considered powerful tools for in vivo or on-site measurements in various fields such as physiology, microbial ecology, medicine, neuroscience, and environmental monitoring. After the PPy deposition on an Au microelectrode, the success of the process was first checked with a microscope (Top Ring Led Illuminated Stereo Microscope). As can be seen in Figure 1, the color of Au microelectrode changed from orange-yellow to black, confirming the successful coating of PPy.

EGFET-based pH microsensors use chemical protonation and deprotonation reactions causing a potential difference between the solution and the extended gate of the transistor. The EGFET-based pH microsensor was connected to an n-type MOSFET and  $I_{DS}$ - $V_{GS}$  curves were obtained in PBS solutions at different pH values. As shown in Figure 2A, the obtained  $I_{DS}$ - $V_{GS}$  curves changed with changing pH of the solution being measured. The change in the conductivity of the semiconductor PPy at different pH has modulated the potential applied to the channel between the source and the drain in the MOSFET. This situation resulted in different  $I_{DS}$ - $V_{GS}$  curves at different pH values. According to the results, EGFET-based pH microsensor successfully detected pH in a relatively wide range of 5 to 12 with a pH sensitivity of 67 mV/pH. A calibration curve was also obtained based on  $V_{GS}$  at  $I_{DS} = 3 \mu A$  with an  $R^2$  value of 0.99, clearly showing that the relationship between pH and voltage values was linear (Figure 2B). The thickness of the PPy coating can greatly affect the sensitivity of the sensor.

In order to see the effect of electropolymerization time on the sensitivity, 0.1  $\mu A$  current was applied to the working electrode for 1, 3, 4, 5 and 10 min in galvanostatic mode. It is known that the thickness of PPy can be roughly controlled by controlling the electropolymerization time (Adelaju et al., 1996). Long or short PPy deposition times greatly reduced the pH sensitivity of EGFET-based pH microsensor. For example, electrochemical deposition of PPy for 1 and 10 min resulted in pH sensitivities of 29 and 27 mV/pH, respectively. According to the results, 4 min deposition time yielded the highest sensitivity. In addition, incubating for 40 min at room temperature improved the

sensitivity by 27 mV/pH. In Table 1, the performance of the EGFET-based pH microsensor is compared with some recent reports in which pH sensitivity was determined electrochemically with various modified electrodes. The PPy-modified EGFET-based pH microsensor seemed to outperform most of these electrodes in terms of both pH sensitivity and linear range. In addition to pH sensing, the polymer can also be applied for the enzymatic detection of urea. Basically, urease catalyzes the conversion of urea and releases hydroxide ions, which in turn changes the local pH Eq.(1) (Syu et al., 2009). The local pH change can be easily associated with the level of urea in the environment.



Equation 1: Chemical equation of reaction between urea and urease (Syu et al., 2009)

The adopted strategy allowed the entrapment of the enzyme with PPy in a single step. The EGFET-based urea microsensor was tested in deionized water containing different concentration of urea ranging from  $10^{-1}$  mol/L to  $10^{-9}$  mol/L. As can be seen in Figure 3A<sub>i</sub>, the  $I_{DS}$ - $V_{GS}$  curves differed depending on the urea concentration of the solution being measured. The gate voltage of the MOSFET is affected by the potential of the EGFET and the potential of the sensing film may appear as the potential source. Since urease changes the local pH in the presence of urea, the working principle of EGFET-based urea microsensor is the same as the EGFET-based pH microsensor.  $V_{GS}$  shifts to a more positive direction with increasing urea concentration, which is reasonable as the ammonia produced by the enzyme has a pH causing the local pH to increase. The calibration curve demonstrating the relationship between  $V_{GS}$  and  $-\log[\text{urea}]$  has a  $R^2$  value of 98.63 (Figure 3A<sub>ii</sub>). Although the sensor gave very good linear response between  $10^{-9}$  mol/L and  $10^{-5}$  mol/L with a sensitivity of 35.5 mV/decade, the same was not true for larger concentrations. This may be because the enzyme reaches saturation after a certain level of urea concentration. In addition to  $I_{DS}$ - $V_{GS}$  curves,  $I_{DS}$ - $V_{DS}$  curves were also obtained.

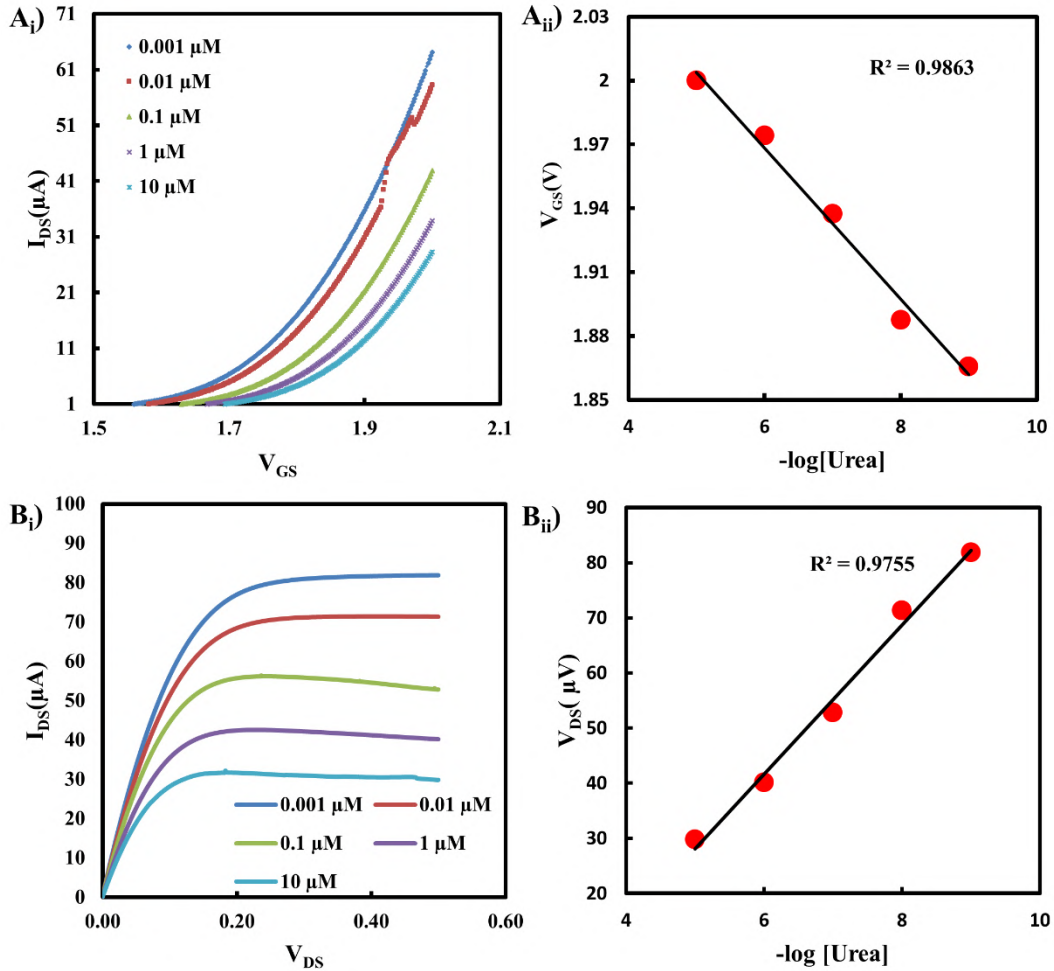


Figure 3.  $I_{DS}-V_{GS}$  (A<sub>i</sub>) and  $I_{DS}-V_{DS}$  (B<sub>i</sub>) curves obtained at varying urea concentrations along with respective calibration curves (A<sub>ii</sub>, B<sub>ii</sub>)

The response of the EGFET-based urea microsensor examined in the saturation regime of the MOSFET. Figure 3B<sub>i</sub> shows that the  $I_{DS}-V_{DS}$  characteristics of the sensor changed accordingly with varying concentration of urea. Basically, the conductivity of PPy dropped at high pH caused by the enzymatic reaction of urease and thus  $I_{DS}$  got reduced with increasing urea concentration. It can be clearly seen in Figure 3B<sub>i</sub> that the  $I_{DS}$  values became nearly constant after a certain  $V_{DS}$  in all test solutions at a fixed  $V_{GS} = + 0.5$  V. A calibration curve was obtained the same as before. The relationship between  $I_{DS}$  and  $-\log[urea]$  was linear with an  $R^2$  value of 97.55 (Figure 3B<sub>ii</sub>). The sensitivity of the sensor was calculated to be 10 μA/decade. In Table 2, the performance of the EGFET-based urea microsensor was compared to the analytical performance of different enzymatic urea sensors. The present urea microsensor seemed to have a good linear range and sensitivity. EGFET-based microsensors can be used in bioanalytical applications with advantages such as miniaturization, convenient integration into different micro-systems, stability to environmental changes such as light and temperature, high conductivity, and sensitivity.

#### 4. Conclusions and Recommendations

The use of EGFET-based microsensors for pH and urea detection has been successfully demonstrated. PPy was preferred as a sensing membrane because of its pH sensitivity. Since the thickness of PPy greatly affects the pH sensitivity, polymer deposition time was used to control the thickness and the optimum deposition time was found to be 4 min. Incubation at room temperature also improved and stabilized the response of the sensor. The EGFET-based pH microsensor had a good linear range (pH 5-12) and pH sensitivity (67 mV/pH). Using the same approach as the EGFET-based pH microsensor, EGFET-based urea microbiosensor was fabricated quickly and easily in a single step, where the enzyme urease was encapsulated in PPy during electrochemical deposition. Urea microbiosensor gave a response similar to the pH microsensor. The sensor exhibited a linear response in the urea concentration range of  $10^{-9}$  M to  $10^{-5}$  M with a sensitivity of 35.5 mV/decade. In the light of the obtained results, it can be said that EGFET-based pH and urea microsensors have great potential to be used for bioanalysis, especially in applications where local analysis is required.



Table 1. Comparison of the analytical performance of different modified electrodes for pH measurements

Electrode type	Sensitivity (mV/pH)	Linear range (pH)	Linearity	Reference
PPy/ EGFET microsensor	67	5 - 12	0.9623	This work
InZn <sub>x</sub> O <sub>y</sub> -based EGFET	56.29	2 - 12	0.999	(Singh et al., 2019)
Co(1,2-C <sub>2</sub> B <sub>9</sub> H <sub>11</sub> ) <sub>2</sub> ]-Doped Pyrrole/ ITO	50	1 - 14	0.85	(Pruna et al., 2018)
AlN-gate ISFET based pH sensor	~ 33	4 - 10	0.98145	(Sinha et al., 2019)
Graphene oxide-modified carbon electrodes/pH	51	2 - 10	0.9912	(Neupane et al., 2021)
MWCNT/PANI-modified SPCE	20.63	2 - 11	0.99089	(Bao et al., 2019)
HQS-doped PPy pH sensor	54.67	2 - 12	0.995	(Prissanaroon-Ouajai et al., 2009)

Table 2. Comparison of analytical performance of different enzymatic urea sensors measurements

Electrode type	Sensitivity	Linear range (mM)	LOD(μM)	Reference
EGFET microsensor/PPy/Urease	35.5 mV/decade urea, 10 μA/decade urea	10 <sup>-6</sup> – 10 <sup>-2</sup>	–	This work
Polyaniline/Urease for ammonium ion selective	14.7 ± 0.9 mV/decade urea	10 <sup>-2</sup> – 10 <sup>2</sup>	-	(Mello & Mulato, 2020)
Polyaniline/Urease for hydroxyl ion selective	7.4 ± 0.5 mV/decade	10 <sup>-2</sup> – 10 <sup>2</sup>	-	(Mello & Mulato, 2020)
Chitosan/Nitrocellulose/GA/Urs	23 mV/decade	0.002–0.08	1	(Jakhar et al., 2018)
(Cu)-doped/PPy/Pt	4.5 μA/decade	0.001–10	–	(Yun et al., 2006)
Urease/Copolymer poly( <i>N</i> -3-aminopropyl pyrrole-co-pyrrole) / ITO	27.5 mV/decade	6.3 · 10 <sup>-3</sup> – 4.07 · 10 <sup>-1</sup>	–	(V Bisht et al., 2005)

## 5. Acknowledge

This research was supported by the scientific research projects coordination unit of Izmir Katip Celebi University (Project No: 2021-GAP-MÜMF-0055).

## References

Adeloju, S. B., Shaw, S. J., & Wallace, G. G. (1996). Poly-based amperometric flow injection biosensor for urea. *Analytica Chimica Acta*, 323(1-3), 107-113.

Ahuja, T., Mir, I. A., & Kumar, D. (2008). Potentiometric urea biosensor based on BSA embedded surface modified polypyrrole film. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 134(1), 140-145.

Avolio, R., Grozdanov, A., Avella, M., Barton, J., Cocca, M., De Falco, F., ... & Magni, P. (2020). Review of pH sensing materials from macro-to nano-scale: Recent developments and examples of seawater applications. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1-43.

Aydin, V. K., & Şen, M. (2017). A facile method for fabricating carbon fiber-based gold ultramicroelectrodes with different shapes using flame etching and electrochemical deposition. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 799, 525-530.

Aykaç, A., Tunç, I. D., Guneş, F., Erol, M., & Şen, M. (2021). Sensitive pH measurement using EGFET microsensor based on ZnO nanowire functionalized carbon-fibers. *Nanotechnology*, 32, 365501.

Bao, Q., Yang, Z., Song, Y., Fan, M., Pan, P., Liu, J., ... & Wei, J. (2019). Printed flexible bifunctional electrochemical urea-pH sensor based on multiwalled carbon nanotube/polyaniline

- electronic ink. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30(2), 1751-1759.
- Bisht, V., Takashima, W., & Kaneto, K. (2005). An amperometric urea biosensor based on covalent immobilization of urease onto an electrochemically prepared copolymer poly (N-3-aminopropyl pyrrole-co-pyrrole) film. *Biomaterials*, 26(17), 3683-3690.
- Bisht, V., Takashima, W., & Kaneto, K. (2005). Development of a potentiometric urea biosensor based on copolymer poly (N-3-aminopropyl pyrrole-co-pyrrole) film. *Reactive and Functional Polymers*, 62(1), 51-59.
- Cosnier, S. (2000). Biosensors based on immobilization of biomolecules by electrogenerated polymer films. *Applied biochemistry and biotechnology*, 89(2), 127-138.
- Fenoy, G. E., Marmisollé, W. A., Azzaroni, O., & Knoll, W. (2020). Acetylcholine biosensor based on the electrochemical functionalization of graphene field-effect transistors. *Biosensors and Bioelectronics*, 148, 111796.
- Ghoneim, M. T., Nguyen, A., Dereje, N., Huang, J., Moore, G. C., Murzynowski, P. J., & Dagdeviren, C. (2019). Recent progress in electrochemical pH-sensing materials and configurations for biomedical applications. *Chemical reviews*, 119(8), 5248-5297.
- Jakhar, S., & Pundir, C. S. (2018). Preparation, characterization and application of urease nanoparticles for construction of an improved potentiometric urea biosensor. *Biosensors and Bioelectronics*, 100, 242-250.
- Lakard, B., Segut, O., Lakard, S., Herlem, G., & Gharbi, T. (2007). Potentiometric miniaturized pH sensors based on polypyrrole films. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 122(1), 101-108.
- Li, Y., Mao, Y., Xiao, C., Xu, X., & Li, X. (2020). Flexible pH sensor based on a conductive PANI membrane for pH monitoring. *RSC Advances*, 10(1), 21-28.
- Mello, H. J. N. P. D., & Mulato, M. (2020). Enzymatically functionalized polyaniline thin films produced with one-step electrochemical immobilization and its application in glucose and urea potentiometric biosensors. *Biomedical microdevices*, 22(1), 1-9.
- Mo, X., Wang, J., Wang, Z., & Wang, S. (2003). Potentiometric pH responses of fibrillar polypyrrole modified electrodes. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 96(3), 533-536.
- Mokhtarifar, N., Goldschmidtboeing, F., & Woias, P. (2019). ITO/glass as extended-gate of FET: A low-cost method for differential pH-sensing in alkaline solutions. *Journal of The Electrochemical Society*, 166(12), B896.
- Neupane, S., Subedi, V., Thapa, K. K., Yadav, R. J., Nakarmi, K. B., Gupta, D. K., & Yadav, A. P. (2021). An alternative pH sensor: graphene oxide-based electrochemical sensor. *Emergent Materials*, 1-9.
- Pan, C. W., Chou, J. C., Kao, I. K., Sun, T. P., & Hsiung, S. K. (2003). Using polypyrrole as the contrast pH detector to fabricate a whole solid-state pH sensing device. *IEEE sensors journal*, 3(2), 164-170.
- Pandey, A. K., Pandey, P. C., Agrawal, N. R., & Das, I. (2018). Synthesis and characterization of dendritic polypyrrole silver nanocomposite and its application as a new urea biosensor. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(3), 45705.
- Prissanaroon-Ouajai, W., Pigram, P. J., Jones, R., & Sirivat, A. (2009). A sensitive and highly stable polypyrrole-based pH sensor with hydroquinone monosulfonate and oxalate co-doping. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 138(2), 504-511.
- Pruna, R., Palacio, F., Fuentes, I., Viñas, C., Teixidor, F., & López, M. (2018). A Novel Transparent pH Sensor Based on a Nanostructured ITO Electrode Coated with [3, 3'-Co (1, 2-C2B9H11) 2]-Doped Poly (pyrrole). In *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings (Vol. 2, No. 13, p. 869)*.
- Pullano, S. A., Critello, C. D., Mahbub, I., Tasneem, N. T., Shamsir, S., Islam, S. K., ... & Fiorillo, A. S. (2018). EGFET-based sensors for bioanalytical applications: A review. *Sensors*, 18(11), 4042.
- Pullano, S. A., Tasneem, N. T., Mahbub, I., Shamsir, S., Greco, M., Islam, S. K., & Fiorillo, A. S. (2019). Deep submicron EGFET based on transistor association technique for chemical sensing. *Sensors*, 19(5), 1063.
- Sadki, S., Schottland, P., Brodie, N., & Sabouraud, G. (2000). The mechanisms of pyrrole electropolymerization. *Chemical Society Reviews*, 29(5), 283-293.
- Singh, K., Her, J. L., Lou, B. S., Pang, S. T., & Pan, T. M. (2019). An extended-gate FET-based pH sensor with an InZn x O y membrane fabricated on a flexible polyimide substrate at room temperature. *IEEE Electron Device Letters*, 40(5), 804-807.
- Sinha, S., Mukhiya, R., Sharma, R., Khanna, P. K., & Khanna, V. K. (2019). Fabrication, characterization and electrochemical simulation of AlN-gate ISFET pH sensor. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30(7), 7163-7174.
- Syu, M. J., & Chang, Y. S. (2009). Ionic effect investigation of a potentiometric sensor for urea and surface morphology observation of entrapped urease/polypyrrole matrix. *Biosensors and Bioelectronics*, 24(8), 2671-2677.
- Şen, M., & Demirci, A. (2016). pH-dependent ionic-current-rectification in nanopipettes modified with glutaraldehyde cross-linked protein membranes. *RSC advances*, 6(89), 86334-86339.
- Şen, M., Ino, K., Inoue, K. Y., Suda, A., Kunikata, R., Matsudaira, M., Shiku, H. & Matsue, T. (2014). Electrochemical evaluation of sarcomeric  $\alpha$ -actinin in embryoid bodies after gene silencing using an LSI-based amperometric sensor array. *Analytical Methods*, 6(16), 6337-6342.
- Şen, M., Ino, K., Ramón-Azcón, J., Shiku, H., & Matsue, T. (2013a). Cell pairing using a dielectrophoresis-based device with interdigitated array electrodes. *Lab on a Chip*, 13(18), 3650-3652.
- Şen, M., Ino, K., Shiku, H., & Matsue, T. (2012). Accumulation and detection of secreted proteins from single cells for reporter gene assays using a local redox cycling-based electrochemical (LRC-EC) chip device. *Lab on a Chip*, 12(21), 4328-4335.
- Vonau, W., & Guth, U. (2006). pH monitoring: a review. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 10(9), 746-752.
- Yun, D. H., Song, M. J., Sim, H., & Hong, S. I. (2006, October). Sensitivity improvement of polypyrrole-based urea sensor using copper ion doping effect. In *2006 IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference (Vol. 1, pp. 574-575)*. IEEE



# DA-DA Düşürücü Dönüştürücünün Sistem Tanımlaması ve Kontrolü

Davut Sevim<sup>1\*</sup>, Nurullah Bozkurt<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0227-4772), [davut.sevim@batman.edu.tr](mailto:davut.sevim@batman.edu.tr)

<sup>2</sup> Batman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6932-5327), [nurullah.bozkurt@batman.edu.tr](mailto:nurullah.bozkurt@batman.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 5 Kasım 2021 ve Kabul Tarihi 29 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1019650)

**ATIF/REFERENCE:** Sevim, D., & Bozkurt, N. (2021). DA-DA Düşürücü Dönüştürücünün Sistem Tanımlaması ve Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 881-889.

## Öz

Güç elektroniği uygulamalarından biri olan düşürücü tip DA-DA dönüştürücüler, doğrusal olmadıklarından dolayı transfer fonksiyonu elde etmede uygun bir metot ile tanımlanma ihtiyacı duyarlar. Bu dönüştürücünün transfer fonksiyonunu elde etmek için matematiksel modelleme gibi karmaşık işlemler gerekmektedir. Bu sıkıntıları ortadan kaldıran yöntemlerden bir tanesi Black-box tabanlı sistem tanımlama yöntemidir. Bu çalışmada, Black-box tabanlı DA-DA düşürücü dönüştürücü tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan sistemin, transfer fonksiyonu katsayıları belirlenmiştir. Önerilen modelin sisteme hangi oranda benzediği ve performans değerleri çıkarılmıştır. Sistemin daha kararlı bir hale getirilmesi için PID kontrolör eklenerek, kontrolör parametreleri belirlenmiştir. Tasarlanan sistemin, kontrollü ve kontrolsüz durumlardaki açık çevrim ve kapalı çevrim performansları kıyaslanmıştır. Devre sonuçları incelendiğinde, Black-box yöntemi ile çıkarımı yapılan transfer fonksiyonunun devreyi hızlı ve doğru bir şekilde modellediği ve kontrolör tasarımının basitleştirildiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Sistem tanımlama, DA-DA düşürücü dönüştürücü, Black-Box, Transfer fonksiyonu.

## System Identification and Control of DC-DC Step-Down Converter

### Abstract

Buck converters are forming one of the applications of power electronics. As they have non-linear structure, an appropriate method is required in order to obtain the transfer function. In terms of obtaining the transfer function, complex operations, including mathematical modeling, are required. The black-box-based system identification is one of the methods that can ease the problems. Therefore, in this study, black-box based buck converter design has been realized. The transfer function coefficients of the designed system were determined. The performance values were extracted with the proposed model. In order to make the system more stable, the PID controller was added and the controller parameters were determined. The open-loop and closed-loop performances of the designed system in controlled and uncontrolled cases were compared. It was seen that the transfer function extracted by the Black-box method simplifies the controller design and quickly and accurately obtains the circuit model.

**Keywords:** System identification, Buck converter, Black-Box, Transfer function.

\* Sorumlu Yazar: [davut.sevim@batman.edu.tr](mailto:davut.sevim@batman.edu.tr)

## 1. Giriş

Yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler ile güç elektroniğinde çok ciddi gelişmeler meydana gelmiştir. Günümüzde güç elektroniği sistemleri, birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamalardan biri de anahtarlamalı Düşürücü tip DA-DA (Doğru Akım-Doğru Akım) dönüştürücüleridir. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücüler, işletmelerde üretimi gerçekleştiren makinelerin güç kaynaklarında, motor kontrol devrelerinde ve günlük hayatta kullanılan bilgisayar, televizyon gibi birçok üründe kullanılmaktadır (Yalduz, 2015).

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücüler bobinli olurlar ve genellikle izolesiz yapıda üretilirler. Bu dönüştürücüler temelde giriş gerilim kaynağı ve yük hariç iki aktif ve iki pasif devre elemanının çalışma devresine bağlanması ile elde edilirler (Rashid, 2007). Düşürücü tip DA-DA dönüştürücülerde, çıkış voltajının büyüklüğü, dönüştürücü anahtarının girişindeki PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) sinyalinin görev oranının kontrol edilmesi ile sağlanır (Özdemir ve Yazıcı, 2018; Emadi, 2005).

Özellikle, anahtarlamalı dönüştürücülerin doğrusal olmayan yapısından dolayı, tam matematiksel tanımlarını kullanarak kararlı geri besleme kontrolörlerini tasarlamak çok zordur. Genellikle, anahtarlamalı dönüştürücüler doğrusal olmayan diferansiyel denkleme sahiptir ve çözülmesi karmaşıktır (Choi, 1998). Bu sebepten dolayı transfer fonksiyonu çıkarımı gibi uygun bir metot ile tanımlanmaları gerekmektedir. Transfer fonksiyonu çıkarımı için matematiksel modelleme gibi nispeten karmaşık görünen tekniğin yanında sistem tanımlama yöntemleri de kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri de Black-box tabanlı yöntemdir. Bu yöntemde sistemin giriş/çıkış değerleri ölçülür ve sistemi temsil eden bir model önerilir. Black-box yöntemi sayesinde bir dönüştürücünün dinamik davranışını tanımlayan transfer fonksiyonu ve benzeri modeller önerilebilir.

Jin-Hong vd. DA-DA dönüştürücü sisteminin bir parametre tahminini ele almaktadır. DA-DA dönüştürücü sisteminin teşhisi için ana parametrenin sistem tanımlama yöntemi ile tahmin edilebileceğini ve sistemin yaşlanma durumunun, çalışma durumu üzerindeki bu sonuçlarla tahmin edilebileceğini doğrulamaktadır (Jin-Hong, Tae-Jin, Kwang-Su ve Kwang-Hwa, 2004). Buatti vd. DA-DA dönüştürücünün parametrelerini tanımlamak için en küçük kareler yöntemini kullanan bir yöntem sunmuştur (Buiatti, Amaral ve Marques Cardoso, 2007). Zhao, basit donanımla uygulanabilen otomatik ayarlı kontrolör geliştirmiştir (Zhao, 2008). Kontrolör, kasıtlı olarak getirilen sınır döngüsü salınımlarının genliğini ve frekansını inceleyerek çıkış kapasitansı, yük direnci, köşe frekansı ve sönümleme faktörü gibi güç aşaması parametrelerini tahmin etmiştir. Algreer vd. DA-DA dönüştürücünün parametrelerini tanımlamak için yeni bir çevrimiçi yaklaşım önermişlerdir. Önerilen yöntem, geçici dönemlerde ani yük değişikliklerini hızlı bir şekilde saptayarak hesaba katmıştır. Bununla birlikte tahmin algoritması, çıktı tepe aşım değerine ulaşmadan önce model parametrelerini güncelleyebilmiştir (Algreer, Armstrong ve Giaouris, 2009). Osman vd. zaman alanına dayalı bir sistem tanımlama yöntemi geliştirmişlerdir. Örneklenen veriler, matematiksel bir modeli tahmin etmek ve doğrulamak için analiz ederek ön işleme tabi tutmuştur. Önerilen yöntem, yük parametresini iyi bir doğrulukla belirleyebilmiştir (Osman & Osman, 2011). Tabora vd. hata üzerinden Sıfır Ortalama Dinamik veya ZAD (Sıfır Ortalama Dinamikler) stratejisine dayalı Dijital-PWM kontrollü düşürücü

dönüştürücüde yeni bir parametre tahmin yöntemi bildirilmiştir (Tabora, Angulo ve Olivar, 2011). Li vd. DA-DA düşürücü dönüştürücünün tam parametre tahmini için yeni bir yaklaşım önermiştir. Yeni yaklaşım, biyocoğrafya tabanlı optimizasyon kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geleneksel RLS (Öz Yinelemeli En küçük Kareler) yönteminin aksine, önerilen yöntem tam durum gözlemleri bir durum uzayı modeline dayandırılmaktadır. Bu nedenle, farklı ölçüm gürültü seviyeleri altında parametre tahmin performansı iyileştirilmiştir (Li ve Low, 2016). Cen vd. düşürücü dönüştürücülerin durumlarını izlemek ve kapasitans, endüktans gibi bileşen parametrelerini tahmin etmek için model gözlemci tabanlı bir şema önermişlerdir (Cen ve Stewart, 2017). Abbas vd. dönüştürücülerin dinamiklerinin tahminini ele almışlar. Önerilen çalışmada, dönüştürücü dinamiklerini tahmin etmek için görev döngüsünden çıkış voltajı tahminine kadar frekans cevabına dayalı veriler kullanmıştır (Abbas ve Abbas, 2018). Padhee vd. düşürücü tip DA-DA dönüştürücü için kapalı döngü parametrik sistem tanımlamasının adım adım analizini sağlamıştır. Kapalı döngü parametrik tanımlamada, giriş-çıkış deneysel verileri, düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün transfer fonksiyonu katsayılarını tahmin etmek için kullanmıştır (Padhee, Pati, ve Mahapatra, 2018). Andries vd. yazılım kontrol döngüsüne sahip bir düşürücü tip DA-DA dönüştürücüsüne uygulanan ayrı bir zaman alanlı sistem tanımlama yöntemini açıklamaktadır. Yöntemin özü, düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün, PWM kontrol sinyalinin girdisi olarak dikkate alınarak dönüştürücünün çıkışının açık döngü dinamiklerine iyi bir doğrulukla yaklaşan bir transfer fonksiyonunun tahmin edilmesinden oluşur (Andries, Goras, David, Buzo ve Pelz, 2019).

Bu makalede, bir düşürücü tip DA-DA dönüştürücü tasarımının Simulink ortamında gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Tasarım için sistemin transfer fonksiyonu elde edilmeye çalışılmıştır. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün transfer fonksiyonunu elde etmek için sistem tanımlama yöntemlerinden biri olan Black-box sistem tanımlama modeli önerilmiştir. Giriş ve çıkış değerleri tanıtılmış ve Black-box tabanlı sistem tanımlama yöntemi kullanılarak, tasarımı yapılan sistemin transfer fonksiyonu katsayıları belirlenmiştir. Katsayılar belirlenirken önerilen modellerin, sisteme hangi oranda benzediği belirlenerek performansları ortaya çıkarılmıştır. Buradan kontrolsüz bir şekilde tasarımı yapılan simülasyon devresinin aşım miktarını azaltmak ve sistemi daha kararlı bir hale getirmek için simülasyon devresine PID kontrolör eklenmiştir. Kontrolör parametrelerinin düzgün bir şekilde seçilmesi sistemin kararlılık durumunu yüksek derecede etkilemektedir. Kontrolör parametreleri belirlemek için Matlab arayüzünden faydalanılmıştır. Devre sonuçları incelendiğinde, Black-box yöntemi ile çıkarımı yapılan transfer fonksiyonunun devreyi hızlı ve doğru bir şekilde modelleyebildiği görülmüş aynı zamanda kontrolör tasarımı basitleştirilmiştir.

## 2. DA-DA Düşürücü Tip Dönüştürücü Modeli Materyal ve Metot

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devresi temel olarak belirli bir DA giriş voltajını istediğimiz daha düşük bir DA çıkış voltajına dönüştürme işlevini gerçekleştirir. Devrede kontrol edilebilen bir yarı iletken anahtar, bir diyot, bir LC alçak geçiren filtre ve çıkışta bir yük bulunmaktadır.

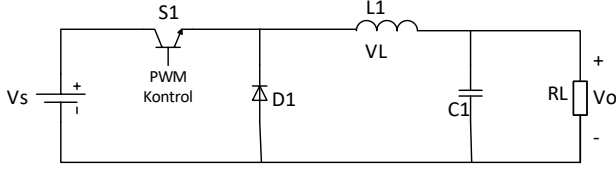
Çıkış voltajını dönüştürme işlemi yarı iletken güç anahtarının kontrol edilmesi ile gerçekleştirilir. Kontrol işlemleri



için çeşitli metotlar mevcuttur. Ancak son yıllarda güç elektroniği alanında yaygın olarak kullanılan kontrol tekniği PWM tekniğidir.

PWM kontrol yönteminde, referans gerilim ile çıkış gerilimi farkı yükseltir. Elde edilen kontrol işareti, testere dişi dalga ile karşılaştırılır. Karşılaştırıcı devrenin çıkışından sisteme uygulanacak olan PWM kontrol işareti elde edilir (Bodur, 2014).

Şekil.1'de temel düşüren dönüştürücü devresi, görev dögüsü tanımlı ve eşitliği verilmiştir.



Şekil 1. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devresi

Anahtarlama frekansı ve periyot arasındaki devre eşitliği;

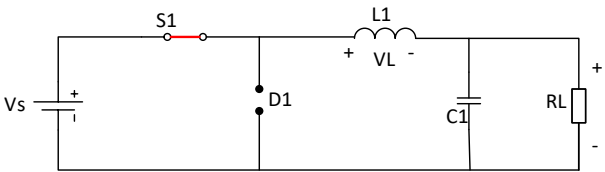
$$f = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

Bir periyot süresinde S1 anahtarının açık olduğu zamana  $t_{on}$ , kapalı olduğu zamana  $t_{off}$  diye belirtilirse görev dögüsü veya doluluk oranı (duty cycle) anahtarlama elemanının iletimde olduğu sürenin tüm periyot süresine oranı olarak adlandırılır. Doluluk oranı aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır.

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \quad 0 \leq D \leq 1 \quad (2.2)$$

İdeal bir dönüştürücüde tüm elemanlar mükemmel kabul edilir. Bobin ve Kondansatörün iç dirençleri ihmal edilir.

Düşürücü dönüştürücü sürekli iletim modunda (CCM) veya süreksiz iletim modunda (DCM) çalışabilir. İkisi arasındaki fark, sürekli iletim modunda bobindeki akımın sıfıra düşmemesidir. Genel performans açısından kıyaslanırsa sürekli iletim modunda maksimum çıkış gücü elde edilir. Devredeki çalışma mantığının anlaşılabilmesi için S1 yarı iletken anahtarın açık ve kapalı olduğu durumlar ile ilgili devre elemanlarının akım ve gerilim değerleri incelenmelidir:



Şekil 2. Anahtarın iletim durumu

Anahtar iletim durumunda iken; diyot kesimde olur, giriş gerilim kaynağı anahtar açık olduğu sürece  $t_{on} = DT$  devre elemanlarını besler. Bobin gerilimi giriş gerilimi ile çıkış geriliminin farkına eşit olur. Kondansatör gerilimi de çıkış gerilimine eşitlenir.

$$V_L = V_S - V_0 \quad (2.3)$$

$$V_C = V_0 \quad (2.4)$$

Bobin gerilimi doğrusal bir şekilde artar ve bobinde bir miktar enerji birikir. Bobin geriliminin akıma bağlı değişimi;

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (2.5)$$

2.3, 2.4 ve 2.5 eşitliklerinden;

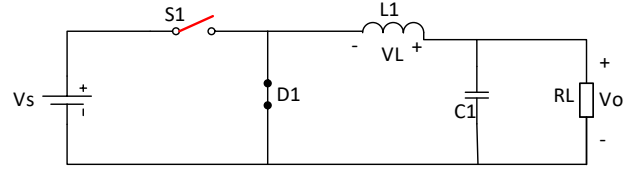
$$V_L = V_S - V_0 = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (2.6)$$

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{V_S - V_0}{L} \quad (2.7)$$

$$i_C = C \frac{dV_0(t)}{dt} \quad (2.8)$$

$$\frac{dV_0(t)}{dt} = \frac{1}{C} (i_L - \frac{V_0}{R}) \quad (2.9)$$

Anahtar açık durumdaki (2.6), (2.7), (2.8) ve (2.9) denklemleri elde edilir.



Şekil 3. Anahtarın kesim durumu

Anahtar kesim durumunda iken; diyot iletimde olur ve giriş kaynak gerilimi devre dışı kalır. Anahtar kapalı olduğu sürece  $t_{off} = (1 - D)T$  bobin deşarj olmaya başlar, voltaj polaritesi tersine döner, bobin üzerindeki yük kondansatör üzerinden akmaya başlar. Bobin gerilimi ve kondansatör gerilimi çıkış gerilimine eşitlenir.

$$-V_0 = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (2.10)$$

$$\frac{di_L(t)}{dt} = -\frac{V_0}{L} \quad (2.11)$$

$$\frac{dV_0(t)}{dt} = \frac{1}{C} (\frac{i_L - V_0}{R}) \quad (2.12)$$

Anahtar kapalı durumdaki (2.10), (2.11) ve (2.12) denklemleri elde edilir. Anahtar açık ve kapalı durumları bobin gerilimi üzerine uygulanırsa;

$$V_{L_{on}} t_{on} + V_{L_{off}} t_{off} = 0 \quad (2.13)$$

$$(V_S - V_0) DT + (-V_0)(1 - D)T = 0 \quad (2.14)$$

$$V_0 = DV_S \quad (2.15)$$

$$D = \frac{V_0}{V_S} \quad (2.16)$$

Düşürücü dönüştürücü doluluk oranı denklemi (2.16) elde edilir. Söz konusu denklem sonucunda görüleceği üzere çıkış voltajı giriş voltajına ve doluluk oranına doğrudan bağlıdır.

## 3. Sistem Tanımlama ile Transfer Fonksiyonu Çözümü

### 3.1. Transfer Fonksiyonu

Transfer fonksiyonu modelleri, bir polinom oranını kullanarak bir sistemin girdileri ve çıktıları arasındaki ilişkiyi tanımlar. Payda polinomunun köklerine model kutuplar denir. Pay polinomunun köklerine model sıfırlar denir. Bir transfer fonksiyonu modelinin parametreleri, kutupları, sıfırları ve iletim gecikmeleridir. Sürekli zamanda, bir transfer fonksiyonu modeli şu biçime sahiptir:

$$Y(s) = \frac{\text{num}(s)}{\text{den}(s)} U(s) + E(s) \quad (3.1)$$

Burada,  $Y(s)$ ,  $U(s)$  ve  $E(s)$  sırasıyla çıkış, giriş ve gürültünün Laplace dönüşümlerini temsil eder. num(s) ve den(s), girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi tanımlayan pay ve payda polinomlarını temsil eder (Mathworks., 2021).

Düşürücü dönüştürücü devresinin transfer fonksiyonunun çıkarmı için Kirchoff akım ve gerilim yasalarından faydalanılır (Osman, 2011).

Devre denklemleri çözümlendikten sonra düşürücü dönüştürücü devresi transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir (Pembegüllü, 2019);

$$G_{vd}(s) = \frac{V_o(s)}{V_s(s)} = \frac{1}{s^2LC + s\frac{L}{R} + 1} \quad (3.2)$$

### 3.2. Sistem Tanımlama

Sistem tanımlama, dinamik sistemlerin matematiksel modellerini oluşturmak için ölçülen verilerden istatistiksel yöntemler kullanan bir yaklaşım sunar (Goodwin, 1977). Sistem tanımlamadaki amaç sistemin davranışının ve dış etkilerin (sisteme girdiler) ölçümlerinden başlamak ve sistemin içinde gerçekte neler olup bittiğinin ayrıntılarına girmeden bunlar arasında matematiksel bir ilişki belirlemeye çalışmaktır. Sistem tanımlama da white-box, grey-box ve black-box olmak üzere üç temel model vardır. Sistem ile ilgili derin bilgi gerektiren durumlarda white-box, tanımlama sürecinde sistem ile ilgili bazı ön bilgiler kullanıldığında grey-box ve sistem için önceden bir bilgi kullanılmadan yalnızca süreçten elde edilen deneysel zaman serilerine dayalı olarak da black-box modeli kullanılır (Cavazzana, Barbosa, Torres ve Martinez, 2007).

### 3.3. Simülasyon Devresi

Düşürücü dönüştürücü devresi tasarlarken dönüştürücünün sabit durumda olduğunu varsayıp yarı iletken anahtarlama elemanını ideal kabul ederek endüktif ve kapasitif elemanların iç kayıpları ihmal edilmiştir. Ayrıca dönüştürücünün sürekli iletim modunda çalıştığı varsayılacaktır.

Şekil 1' deki düşürücü dönüştürücü devresi için Sürekli İletim Modunda, giriş voltajı ( $V_s$ ) ile çıkış voltajı ( $V_o$ ) arasındaki ilişki denklem (3.3)' te verilmiştir;

$$d = \frac{V_o}{V_s} = \frac{t_{on}}{T} \quad (3.3)$$

Denklemden  $d$  görev çevrimi,  $t_{on}$  anahtarın iletim süresini ve  $T$  anahtarlama periyodunu ifade etmektedir. Anahtarlama periyodu  $T$  şu şekilde ifade edilebilir;

$$T = \frac{I_L V_s}{V_o (V_s - V_o)} \quad (3.4)$$

Devredeki minimum endüktans ve kapasitans değerlerinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki eşitlikler kullanılır;

$$L = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (3.5)$$

$$C = \frac{1-D}{8Lf^2} * \frac{1}{\left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right)} \quad (3.6)$$

Söz konusu eşitliklerde değerler yerine konulursa;

$$L = \frac{(1-D)R}{2f} = \frac{(1-0.417)6.8}{2 \times 10000} = 0.198 \text{mH} \cong 0.2 \text{mH} \quad (3.7)$$

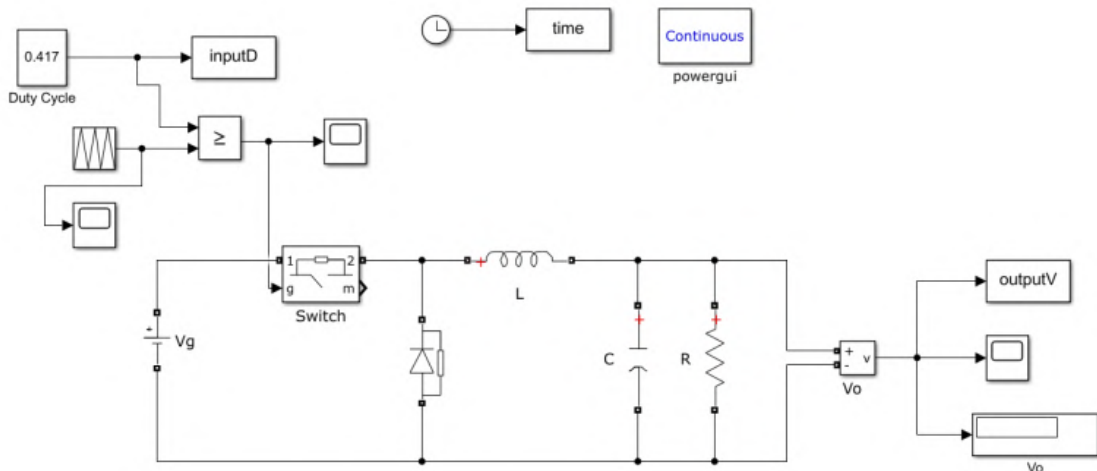
$$C = \frac{1-D}{8Lf^2} * \frac{1}{\left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right)} = \frac{(1-0.417)}{8 \times 0.2 \times 10^{-3} \times (10000^2) \times 0.01} \cong 400 \mu\text{F} \quad (3.8)$$

Düşürücü dönüştürücü devresinde giriş/çıkış değerleri 12/5V ve Anahtarlama frekansı 10 kHz üzerinden çıkış gerilim dalgalanmasına göre gerekli hesaplamalar yapılmış ve devre elemanlarına ait değerler Tablo 1 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 1. Düşürücü Dönüştürücü Devre Parametreleri

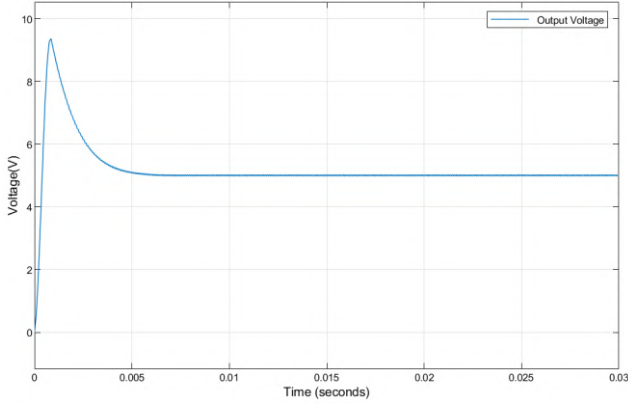
Devre Parametreleri	Açıklama	Değer
$V_s$	Giriş gerilimi	12V
L	Endüktans değeri	0.2mH
C	Kapasitans değeri	400 $\mu$ F
R	Yük direnci	6.8 $\Omega$
$f_s$	Anahtarlama frekansı	10kHz
$V_o$	Çıkış gerilimi	5V
D	Doluluk oranı	0.417
% $\Delta V_o$	Çıkış gerilimi dalgalanma yüzdesi	0.01

DA-DA düşürücü simülasyon devresi tasarımı için Matlab/Simulink uygulaması kullanılmıştır. Kontrolsüz olarak tasarlanan referans simülasyon devresi Şekil 4'te gösterilmiştir.

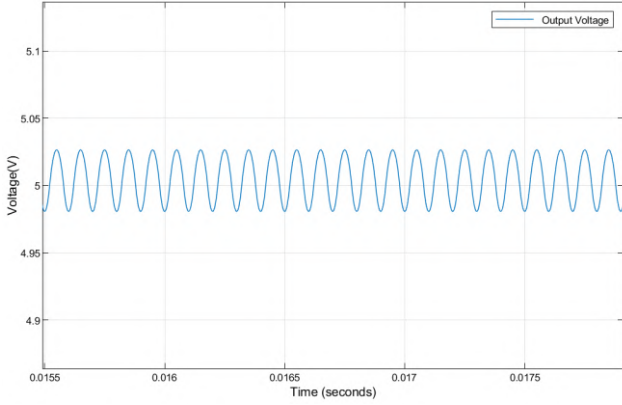


Şekil 4. Referans Simülasyon Devresi

Referans simülasyon devresinin çıkış gerilimine ait grafikler Şekil 5’de verilmiştir.



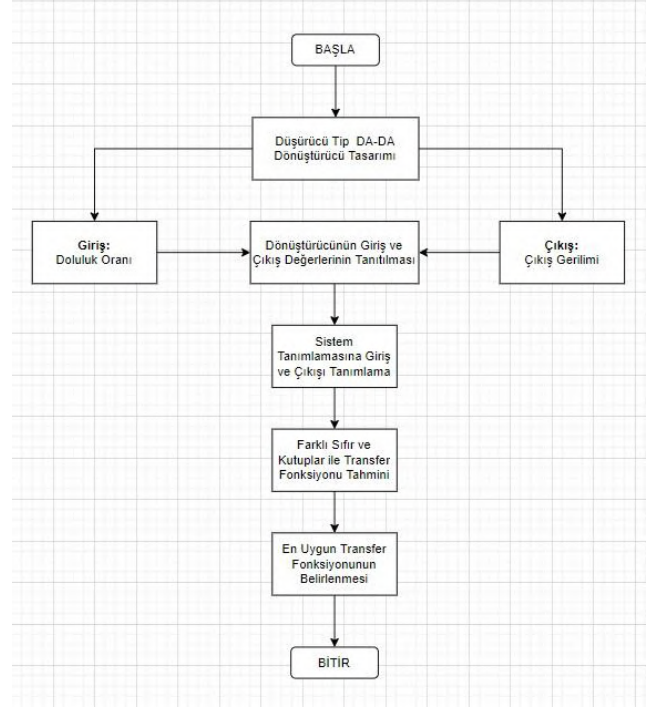
a)



b)

Şekil 5. Referans Simülasyon Devresi Çıkış Gerilim Grafiği a) normal görüntü, b)yakınlaştırılmış görüntü

Şekil 5’deki çıkış grafiklerinden görüleceği üzere aşım miktarı %90 seviyelerinde olduğu için istenmeyen durum meydana gelmiştir. Dolayısıyla sistem kontrole ihtiyaç duymaktadır. Sistemi iyileştirmek için sisteme gerilim modlu kapalı çevrim geri besleme ile PID kontrolör uygulanacaktır. Ancak PID kontrolör eklenmeden önce sistemin transfer fonksiyonunun çıkarılması gerekmektedir. Transfer fonksiyonu hesaplanırken Black-box sistem tanımlama metodu kullanılarak, en yüksek performanslı transfer fonksiyonu seçimi yapılmıştır. Şekil 6’ da düşürücü dönüştürücü devre tasarımı aşamasından başlayıp sistemin en uygun transfer fonksiyonunu tahmin eden iş akış şeması verilmiştir.



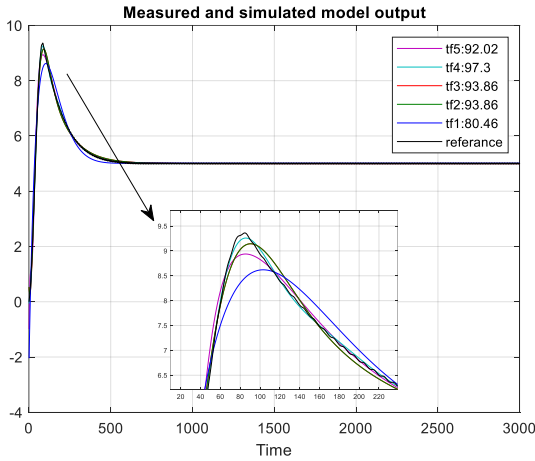
Şekil 6. Transfer Fonksiyonu Tahminini Açıklayan İş Akış Şeması

Düşürücü dönüştürücü referans simülasyon devresinden alınan giriş ve çıkış değerleri Matlab Workspace ortamına aktarımı yapıldıktan sonra Matlab Sistem Identification Toolbox ile değişik pay ve payda değerleri seçilerek transfer fonksiyonları ve performans değerleri çıkarımı yapılmıştır. Burada, 2 kutup 1 sıfırlı (tf1), 3 kutup 1 sıfırlı (tf2), 3 kutup 2 sıfırlı (tf3), 4 kutup 1 sıfırlı (tf4) ve 5 kutup 1 sıfırlı (tf5) transfer fonksiyonlarının model tahminleri yapılmıştır. Tablo 2 üzerinde tahminleri yapılan transfer fonksiyonlarının doğruluk yüzdeleri gösterilmektedir.

Tablo 2. Farklı Kutup ve Sıfır Değerli Transfer Fonksiyonları ve Doğruluk Yüzdeleri

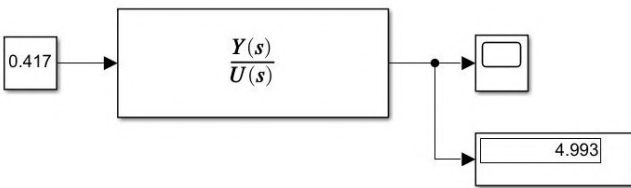
Transfer Fonksiyonu	Kutup	Sıfır	Model	Doğruluk (%)
tf5	5	1	$\frac{5.195e-05 s^2 + 2.315e-07 s}{s^5 + 0.2009 s^4 + 0.02122 s^3 + 0.000724 s^2 + 7.283e-06 s + 1.932e-08}$	92.02
tf4	4	1	$\frac{0.003276 s + 1.258e-05}{s^4 + 0.09415 s^3 + 0.006278 s^2 + 0.0001612 s + 1.049e-06}$	97.30
tf3	3	2	$\frac{0.04747 s + 0.000174}{s^3 + 0.07173 s^2 + 0.00229 s + 1.452e-05}$	93.86
tf2	3	1	$\frac{0.04747 s + 0.000174}{s^3 + 0.07173 s^2 + 0.00229 s + 1.452e-05}$	93.86
tf1	2	1	$\frac{0.6058 s + 0.002693}{s^2 + 0.2704 s + 0.0002239}$	80.46

Tablo 2’ de tf4 olarak adlandırılan 4 kutuplu 1 sıfırlı sistemin transfer fonksiyonu doğruluk yüzdesi %97.3 olarak belirlenmiştir. Yüksek oranda doğruluk yüzdesine sahip olan tf4 fonksiyonu aynı zamanda bundan sonraki süreçte referans alınacak fonksiyon olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Farklı Transfer Fonksiyonlarının Basamak Cevapları

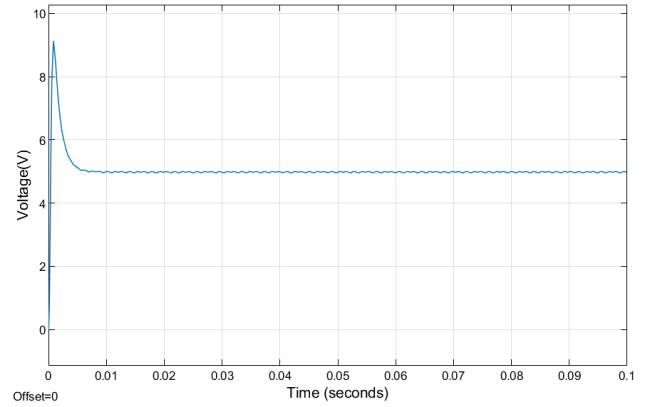
Düşürücü dönüştürücü referans simulink devresinin açık çevrim blok diyagramı Matlab/Simulink ortamında modellenmesi Şekil 8’ de görülmektedir.



Şekil 8. Transfer Fonksiyonu Açık Çevrim Cevabı

Referans transfer fonksiyonu olarak kullanılacak (tf4) fonksiyonunun pay ve payda değerleri Şekil 8 içerisindeki transfer fonksiyonu bloğuna aktarılmıştır. Şekil 9’ da transfer

fonksiyonunun açık çevrimdeki çıkış geriliminin grafiği verilmiştir.



Şekil 9. Transfer Fonksiyonu Açık Çevrim Çıkış Grafiği

Tablo 3’te ise açık çevrim cevabının performans değerleri verilmiştir.

Tablo 3. Açık Çevrim Cevabı Performans Değerleri

Parametre	Kontrolsüz Cevap
Aşım Yüzdesi (%)	84.26
Yerleşme Zamanı (ms)	5.063
Yükselme Zamanı (ms)	0.24
Tepe Değeri (V)	9.13
Tepe Zamanı (ms)	0.86

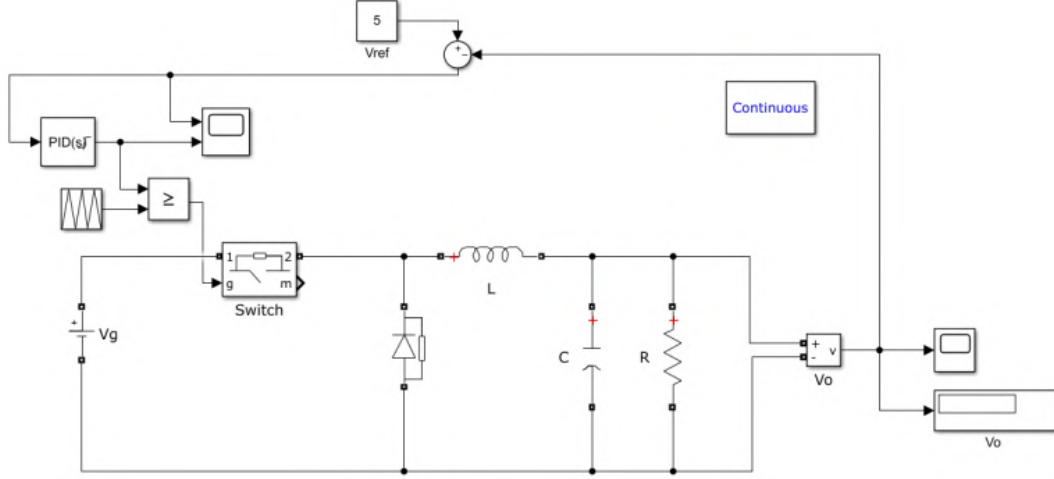
Tablo 3 değerleri sistemin aşım yüzdesinin yüksek olduğunu ve kontrole ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Düşürücü dönüştürücü devresine PID kontrolör eklenerek sistem analizi yapılmıştır.



### 3.4. PID Kontrolör Uygulaması ve Simülasyon Sonuçları

Düşürücü dönüştürücü referans devresindeki aşım ve salınım miktarlarını azaltmak ve sistemi daha kararlı hale getirebilmek için devreye geri beslemeli, gerilim modlu PID

kontrolör eklenmiş ve simülasyon devresi yeniden tasarlanmıştır. Matlab/Simulink ortamında tasarlanan düşürücü dönüştürücü devresi Şekil 10' da görülmektedir.

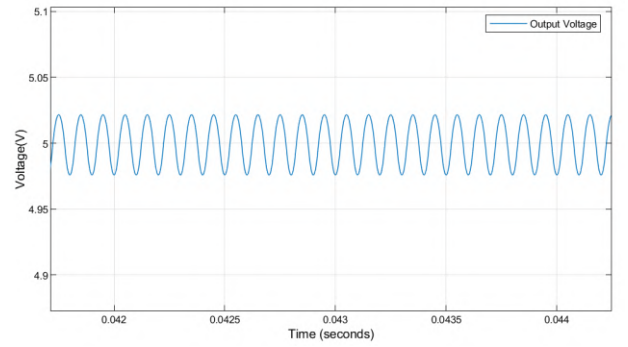


Şekil 10. PID Kontrolör ile Düşürücü Dönüştürücü Devresi

Düşürücü dönüştürücü referans simulink devresine PID kontrolör eklendikten sonra PID kontrolörün kontrol parametreleri ayarlanarak sisteme tanımlanması gerekmektedir.

PID Kontrolörün kontrol parametrelerini bulmak için Matlab kod ortamındaki fonksiyonlardan yararlanılmıştır (Marti, Bradu ve Vinuela, 2015). Düşürücü dönüştürücü referans simulink devresinden alınan giriş ve çıkış değişkenleri Matlab Workspace ortamına aktarılıp ardından sistem identification toolbox üzerinde transfer fonksiyonu tahmini yapılarak PID kontrol parametrelerine erişim sağlanmıştır.

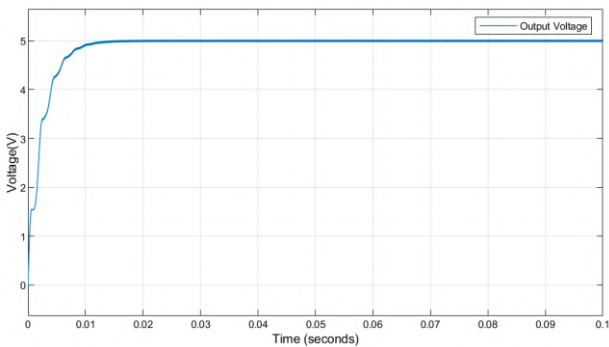
Şekil 11' de PID kontrolör eklendikten sonra çıkış gerilimi grafiği gösterilmiştir.



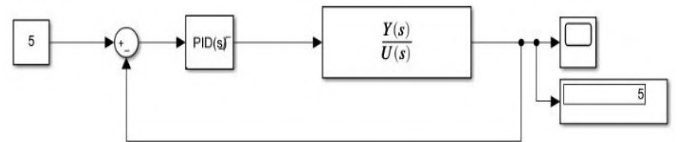
b)

Şekil 11. PID Kontrolörlü Düşürücü Dönüştürücü Devresi Çıkış Gerilim Grafiği a) normal görüntü, b)yakınlaştırılmış görüntü

Şekil 11'de görüleceği üzere PID kontrolör parametre değerleri ayarlandıktan sonra sistemdeki aşım seviyesi azaltılmış ve sistem daha kararlı bir hale getirilmiştir. PID kontrolörlü düşürücü dönüştürücü simülasyon devresinin kapalı çevrim blok diyagramı Şekil 12' de görülmektedir.

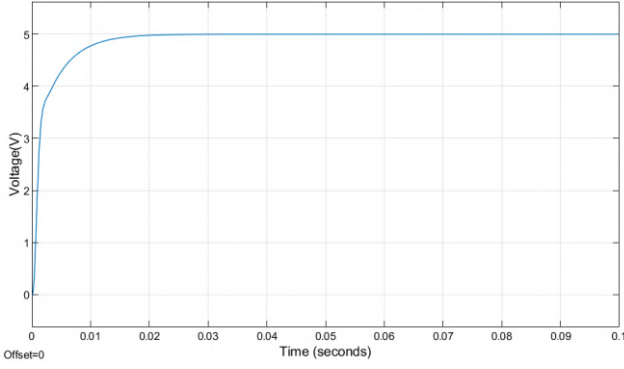


a)



Şekil 12. PID Kontrollü Transfer Fonksiyonu Kapalı Çevrim Cevabı

Blok diyagrama ait cevap grafiği Şekil 13' de gösterilmiştir.



Şekil 13. PID Kontrollü Transfer Fonksiyonu Kapalı Çevrim Cevap Grafiği

Tablo 4'te kontrolsüz sistem ile PID kontrollü sistemin performans değerleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 4. Kontrolsüz Cevap ile PID Kontrollü Cevapların performans kıyaslaması

Parametre	Kontrolsüz Cevap	PID Kontrollü Cevap
Aşım Yüzdesi (%)	84.26	0.463
Yerleşme Zamanı	5.06ms	11.45ms
Yükselme Zamanı (ms)	0.24ms	5.92ms
Tepe Değeri (V)	9.13	5
Tepe Zamanı (ms)	0.86ms	0.1s

Tablo 4'te görüleceği üzere kontrolsüz olan düşürücü dönüştürücü referans devresine PID kontrolör eklendikten sonra aşım miktarının neredeyse sıfıra düştüğü ve kontrolörün sistem performansını iyileştirdiği görülmüştür.

## 4. SONUÇ

Sistemlerin matematiksel olarak modellenmesi uzun ve dikkatli hesaplamalar gerektiren bir işlemdir. Sistem tanımlama metotları bu noktada matematiksel modelleme gerektiren işlemleri çok hızlı ve doğru bir şekilde çözmemize olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada, bir DA-DA düşürücü tip dönüştürücü için yeni bir modelleme tasarımı amaçlanmıştır. Tasarım için giriş/çıkış değerleri tanıtılmış Black-box sistem tanımlama yöntemi kullanılmıştır. Burada, tasarımı yapılan sistemin transfer fonksiyonunun katsayıları belirlenmiştir. Katsayılar belirlenirken, önerilen modellerin performans değerleri ve sisteme hangi oranda benzediği ortaya konmuştur. Önerilen transfer fonksiyonunun performansı değerlendirildiğinde %97.3 oranında benzerlik elde edilmiştir. Tasarıma ait simülasyon devresinin aşım miktarını azaltmak ve sistemi daha kararlı bir hale getirmek için devreye PID kontrolör eklenerek kontrolör parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen transfer fonksiyonunun asıl sisteme olan benzerliğini ölçmek amacıyla transfer fonksiyonunun kontrollü ve kontrolsüz durumlardaki açık çevrim ve kapalı çevrim performansları kıyaslanmıştır. Devre sonuçları incelendiğinde, Black-box sistem tanımlama yöntemi kullanılarak tasarımı yapılan sistemin transfer fonksiyonunun

devreyi hızlı ve doğru bir şekilde modelleyebildiği görülmüştür. Buna göre çalışmanın içeriği ve sonuçları güç elektroniğinde ve çeşitli alanlarda önemli bir katkı sağlama potansiyeline sahip olduğu görülmüştür

## Kaynakça

- Abbas, N., & Abbas, G. (2018). Estimating Dynamics of Switching Converters Using System Identification Technique. *Pakistan Journal of Engineering and Technology, PakJET*, 21-28.
- Algreer, M., Armstrong, M., & Giaouris, D. (2009). System identification of PWM dc-dc converters during abrupt load changes. *2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics* (s. 1788-1793). Porto: IEEE.
- Andries, V. D., Goras, L., David, E., Buzo, A., & Pelz, G. (2019). On the Accuracy of a Time-Domain Identification Method for a DC-DC Buck Converter. *2019 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)* (s. 1-6). Lasi, Romanya: IEEE.
- Bodur, H. (2014). *Güç Elektroniği 3. Baskı* (s. 179-248). içinde İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi.
- Buiatti, G. M., Amaral, A. R., & Marques Cardoso, A. J. (2007). "Parameter Estimation of a DC/DC Buck converter using a continuous time model" in *Power Electronics and Applications, 2007 European Conference*, s. 1-8.
- Cavazzana, E., Barbosa, B. H., Torres, L. A., & Martinez, C. B. (2007). COMPARISON OF WHITE-BOX AND BLACK-BOX MODELS OF A REALHYDRAULIC PUMPING SYSTEM USING A VARIABLE SPEED DRIVE. *19th International Congress of Mechanical Engineering*. Brasilia.
- Cen, Z., & Stewart, P. (2017). Condition Parameter Estimation for Photovoltaic Buck Converters Based on Adaptive Model Observers. *IEEE Transactions on Reliability*, s. 148-160.
- Choi, J. C. (1998). System Identification of Power Converters Based on a Black-Box Approach. *IEEE Transactions on Circuits and Systems, I: Fundamental Theory and Applications*, Vol. 45, No. 11.
- Emadi, A. (2005). *Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives 1st ed.* Florida, USA: Taylor&Francis.
- Goodwin, G. C. (1977). *Dynamic System Identification: Experiment Design and Data Analysis.* Academic Press.
- Jin-Hong, J., Tae-Jin, K., Kwang-Su, K., & Kwang-Hwa, K. (2004). Parameter Estimation by OE model of DC-DC Converter System for Operating Status Diagnosis. *KIEE International Transaction on Electrical Machinery and Energy Conversion Systems*, (s. 206-210).
- Li, B. X., & Low, K. S. (2016). Low Sampling Rate Online Parameters Monitoring of DC-DC Converters for Predictive-Maintenance Using Biogeography-Based Optimization. *in IEEE Transactions on Power Electronics* (s. 2870-2879). IEEE.
- Marti, R., Bradu, B., & Vinuela, E. B. (2015). PID\_TUNE: A PID Autotuning Software Tool On Unicos CPC. *Proceedings of ICALEPCS2015*. Melbourne, Australia.
- Mathworks. (2021). <https://www.mathworks.com/help/ident/gs/identify-linear-models-using-the-gui.html>
- Osman, S. &. (2011). Load Identification of DC-DC converter. *Electrical Engineering Master Thesis, Blekinge Institute of Technology*.

- Osman, S., & Osman, S. (2011). Load Identification of DC-DC converter. *This thesis is presented as part of Degree of Master of Science in Electrical Engineering*. Blekinge Institute of Technology.
- Özdemir, Ö., & Yazıcı, İ. (2018). Ayrık Zaman KKK, LQR ve PID Kontrolör Performanslarının Alçaltıcı Tip Da-Da Dönüştürücü Üzerinde Kıyaslanması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8-15.
- Padhee, S., Pati, U. C., & Mahapatra, K. (2018). Closed-loop parametric identification of DC-DC converter. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 1429-1438.
- Pembegüllü, İ. (2019). Optimized PID Control Of DC-DC Buck Converter,. *Düzce University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical Electronics and Computer Engineering, Master's Thesis*.
- Rashid, M. H. (2007). *Power Electronics Handbook 3rd ed.* Florida, USA.
- Taborda, J. A., Angulo, F., & Olivar, G. (2011). Estimation of parameters in Buck converter with Digital-PWM control based on ZAD strategy. *2011 IEEE Second Latin American Symposium on Circuits and Systems (LASCAS)* (s. 1-4). Bogota, Colombia: IEEE.
- Yalduz, H. (2015). DA-DA DÜŞÜREN DÖNÜŞTÜRÜCÜ TASARIMI VE PI KONTROLÜ. *Yüksek Lisans Tezi*. Van: YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ.
- Yalduz, H. (2015). Design and PI Control of DC-DC Buck Converter. Van: Yüzüncü Yıl University: Institute of Science and Technology.
- Zhao, Z. (2008). Design and Practical Implementation of Digital Auto-Tuning and Fast-Response Controllers for Low-Power Switch-Mode Power Supplies. *A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy*. Canada: Graduate Department of Electrical and Computer Engineering University of Toronto.



# Multi-Camera Vision-Based Mobile Robot Control and Path Planning

Emrah Dönmez<sup>1\*</sup>, Alper Özcan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bandırma 17 Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Software Engineering, Balıkesir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3345-8344), emrahdonmez@bandirma.edu.tr

<sup>2</sup> Akdeniz University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Antalya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5999-1203), alperozcan@akdeniz.edu.tr

(First received 23 June 2021 and in final form 21 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

**ATIF/REFERENCE:** Dönmez, E. & Özcan, A. (2021). Multi-Camera Vision-Based Mobile Robot Control and Path Planning. *European Journal of Science and Technology*, (31), 890-905.

## Abstract

Visual-based controlling concerns how to manage a robot by using image-based features obtained from imaging devices. There are two types of configurations; internal vision configuration – IVC (the camera is in the device) and external vision configuration – EVC (the camera is out of the device). A multi-camera process with EVC has been employed to generate input for modeling behaviors of a mobile robot in this study. Gaussian-based controller and adaptive artificial potential field (A-APF) have been utilized for control and path planning processes, respectively. Four webcams with the same specifications are operated from the same height to control the mobile robot within a specific area. Images are stitched by using identic features of intersection areas in the first stage. Then, the color-based object detection is performed on this image to detect positions and other information related to the target, robot, and obstacles. In the next step, to obtain a feasible and safe path plan between target and robot, an adaptive potential field algorithm is performed. Then, the controller is used to model the robot motions according to the path plan. In each control iteration, only one camera is activated according to the local position obtained from the global position of the moving robot. The simulation and physical experiment results demonstrate that the multi-camera configuration provides good performance and efficiency.

**Keywords:** Visual-based control, Gaussian control, A-APF, Multi-camera, Image stitching.

## Çok Kameralı Görü Tabanlı Mobil Robot Kontrolü ve Yol Planlaması

### Öz

Görsel tabanlı kontrol, görüntüleme cihazlarından elde edilen imge-tabanlı özellikleri kullanarak bir robotun nasıl kontrol edileceği ile ilgilidir. İki tür konfigürasyon vardır; dahili görüş yapılandırması – IVC (kamera cihazdadır) ve harici görüntü yapılandırması – EVC (kamera cihazın dışındadır). Bu çalışmada bir mobil robotun davranışlarını modellemek için girdi oluşturmak için EVC ile çok kameralı bir süreç kullanılmıştır. Kontrol ve yol planlama süreçleri için sırasıyla Gauss tabanlı denetleyici ve uyarlanabilir yapay potansiyel alanı (A-APF) kullanılmıştır. Belirli bir alanda mobil robotu kontrol etmek için aynı özelliklere sahip dört web kamerası aynı yükseklikten çalıştırılır. Dört kameradan alınan görüntüler ilk aşamada kesişim alanlarının ortak özelliklerine göre dikilir. Ardından, robot, hedef ve engellerle ilgili konumları ve diğer bilgileri tespit etmek için bu dikilmiş görüntü üzerinde renk tabanlı nesne tespiti gerçekleştirilir. Bir sonraki adımda robot ve hedef arasında uygun ve güvenli bir yol planı elde etmek için uyarlanabilir potansiyel alan algoritması yürütülür. Daha sonra Gauss tabanlı mobil robot denetleyicisi, robot hareketlerini yol planına göre modellemek için kullanılır. Her kontrol yinelenmesinde, hareket eden robotun global konumundan elde edilen yerel konuma göre yalnızca bir kamera etkinleştirilir. Deneysel simülasyon ve gerçek dünya sonuçları, çoklu kamera konfigürasyonunun iyi performans ve verimlilik sağladığını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Görsel tabanlı kontrol, Gauss kontrolü, A-APF, Çoklu kamera, Görüntü birleştirme.

\* Corresponding Author: [emrahdonmez@bandirma.edu.tr](mailto:emrahdonmez@bandirma.edu.tr)



## 1. Introduction

Motions of a mobile robot is usually modeled by utilizing environment information gathered from onboard encoders, distance sensors, or imagining sensors (external and internal sensors) (Siciliano, 2008), (Dönmez, 2018). Imagining sensors capture visual information in the images. Then, visual features are obtained by employing image processing approaches. Visual-based mobile robot control is a popular researching area in robotics. The main motivation is managing the robot by using visual features obtained from its surroundings. The internal vision configuration (IVC) based system is used to detect positions of objects by utilizing visual features, distance, and depth information. The second approach is external vision system (EVC) providing to detect information about the environment. In external vision configuration (EVC), unique features of the object (target, robot etc.) can be tracked and according to these features, motion of robot is modeled.

In a visual-based control system with EVC configuration; the cameras capture visual information like low, mid, or high-level features from the working environment. The system tracks the changes in the consecutive image frames. Each tracked change may affect the robot's motion according to the control system design. The image processing and control tasks are generally performed on an external computer system rather than robot hardware in this configuration. All the sensor tasks (measuring the distance, position, etc.) are performed through the imaging sensors in visual-based control systems. Therefore, internal or external sensors to measure distance or position aren't needed in general. In terms of performance, objects are tracked with high speed by using optimized image processing algorithms in visual-based control. Path errors mainly stemming from slipping, colliding, and falling or sensor reading are highly prevented in visual-based control. Because the controller knows the exact position of the robot in each control iteration. Thus, it can be said that a visual-based control system provides a good balance between performance and cost.

The other important component of visual-based control is path planning. It is one of the basic parts of the robot control process. It simply concerns modeling a path plan between an two position configurations (Choset, 2005). A path is created by considering the obstacles (wall, door, any object, etc.) in a configuration space. The main factors about planning a path are path safety, working efficiency, and admissible path cost, (Cowan, 2002), (Dönmez, 2020). Path planning is performed according to problem structure. Two types of approaches are global and local methods. They are used to extract a path plan from a given environment (Dudek, 2010). Global approaches are divided into two categories; retraction methods and decomposition methods. The retraction methods recursively reduce the dimension of the initial problem by taking into account a certain part of the configuration space. Decomposition methods characterize the obstacle-free regions of given configuration space. In addition, distance value are mainly used in local approaches while avoiding obstacles. This distance (or the cost function gradient) generally guides the local method. To overcome complex robots, the local approaches are more efficient. Except for these two approaches, path planning can be performed with stochastic or randomized methods. These methods generally utilize building a graph and find a local minimum at each iteration. In addition to the configuration

space, path planning can be considered in the trajectory space. In this space, a straight line is created between the initial and final configuration while all of the obstacles are neglected. In the next step, this path is progressively reshaped by reducing and fixing improper parts of the acquired path. Planning a path can be performed with graph-inspired approaches like Dijkstra (Tsitsiklis, 1995), (Cormen, 2001), A\* (Hart, 1968), D\* (Stentz, 1994), randomized methods like RRT, esiBi-RRT (Lavalle, 1998), (Lavalle, 1999), potential field inspired APF method (Rimon, 1992), partitioning, hierarchical partitioning, etc. Each method has advantages or disadvantages according to the configuration space specifications.

In section 2, related works have been given. Problem definition is defined and preliminary information is organized in section 3. We touch details of material and methods including image stitching, object detection, kinematics, potential fields, and controller design in section 4. In section 5, both simulation and real-world experiments have been performed and explained. Conclusion and future works have been given in section 6.

## 2. Related Studies

Visual-based robot control is investigated in a remarkable number of researches. Decreasing errors and improving speed and efficiency are generally the main focusing points in these studies. There are several configurations to implement a visual-based robot control infrastructure. Malis et al (Malis, 2000) have improved the fundamental visual servoing approaches to the use of multiple cameras tracing a number of segments of an entity. The multi-camera visual-based control has been developed as a chunk of the task cluster approach. They expressed that the design of the control and the analysis of stability has been facilitated by allowing specific selection of the task function. Lippello et al (Lippello, 2005) has introduced a visual servoing process capitilazing a mixed eye-to-hand/in-hand multi-camera system in their study. It is claimed that depending on a modified Kalman filter, this approach utilizes the data ensured by all the cameras without “a priori” distinction, permitting real-time estimation of object position. Qiu et al (Qiu, 2006) have proposed a multi-camera configured visual servoing system. The designed system uses switching the vision system between the eye-in-device and stereo cameras with a voting process. They stated that the proposed infrastructure enables process in a more generic variety of situations than that of either eye-in-hand or stereo camera single configuration. Yoshitata et al (Yoshitata, 2007) proposed a visual control design that allows a mini-helicopter to hover under local and temporal occlusions. Two fixed and upward-looking imagining devices observe four black balls fixated to rods connected to the lower side of the helicopter. They have said that the designed structure can hold the helicopter in a resolute hover. Iwatani et al (Iwanati, 2008) proposed a visual servo control system using multi-camera for unmanned micro aerial vehicles. The cameras are placed on the floor, and they are connected through a network. They claimed that the controller is durable against occlusion, and the helicopters can move easily and freely in the field of view of the camera. Weber and Kühnlenz (Weber, 2010) have utilized triangulation of images obtained by multi-cameras pointing in different directions to manage a robot with position-based visual servoing (PBVS). The presented triangulation is deployed by a linear method which provides real-time operating and high accuracy. Kermorgant and Chaumette (Kermorgant, 2011) have introduced a sensor fusion model for positioning of a robot with

multi-sensors. To realize an image-based visual servoing task, two cameras are used in eye-in-hand and eye-out-hand configuration. It is said that the sensor data fusion design is activated by a versatile comparison. Elsheikh et al (Elsheikh, 2016) has recommended an application and practical results of dynamic path planning and robot navigation for a mobile robot by using visual based controlling in an indoor environment. It is said that power consumption is balanced, short locomotion distances for the robot are anticipated and consequently enhance the overall time. Aliakbarpour et al (Aliakbarpour, 2014) have introduced several contributions on controlling a mobile robot operating a generic camera system. It is claimed that by using a basic radial model, the recommended visual servoing technique can be operated for commonly known type of general camera, both non-central and central. Ahlin et al (Ahlin, 2016) have proposed a leaf grasping system using a robotic manipulator in an unstructured environment by using deep learning and visual servoing. They said that Monoscopic Depth Analysis (MDA) enables a random number of features in unknown geometric characteristics. Alepuz et al (Alepuz, 2016) have exhibited a visual-based controller to fulfill a robot manipulator guidance. The manipulator has an eye-in-device camera configuration and is placed to a base satellite. The base is entirely independent and floating in space without attitude control. They said that by taking into account dynamics and kinematics, the controller system permits the robot to accomplish a defined location from an starting point and implement the tracking of the desired trajectory. Dönmez et al (Dönmez, 2016) introduce a visual servoing method. They use the decision tree method and graph-based input calculation to design controller functions. They claimed that the proposed method provides efficient and robust motion modeling. Dirik et al (Dirik, 2016), (Dirik, 2020) proposed a decision tree controller taking positioning inputs according to a triangle scheme. They use an eye-out device configuration and a wheeled mobile robot. They only model the go-to-goal motion model for a mobile robot. Dönmez et al (Dönmez, 2017) introduced an adaptive artificial potential field method that dynamically manages the parameters according to the target distance and available sensor data. They use image processing techniques to detect obstacles, robots, and target positions. They compare adaptive potential field and conventional methods and emphasize the notable achievements. Dirik et al (Dirik, 2017) present a fuzzy logic-based static path planning method. They use a fuzzy-based controller to extract a path plan on acquired image space. Floor vertical camera (FVC) configuration has been used within an external computation unit.

The majority of the investigated studies have been carried out without considering the number of cameras in the configuration space in general. The stereovision systems with double cameras have been generally focused on in these studies. Multi-camera configured systems similar to this study are commonly designed by utilizing Position-Based Visual Servoing (PBVS) method. IVC studies are more researched compare to EVC studies. A simple and easy-to-use multi-camera configuration is implemented in this study. We have used four cameras to extend the configuration space. The process of image stitching is employed to generate a binary map including entities of the working environment. The position of the robot is determined in consecutive image frames by using simple object

detection methods. Both simulation and real implementation results have been implemented and results are analyzed.

### **3. Preliminary Information**

A multi-camera configured visual-based control design hosts a couple of problems in its essence. The first problem is the image stitching procedure; it is a time-consuming task because of high mathematical complexity. It is not possible or impractical to apply it in real-time visual-based control. Therefore, this task is performed once before extracting the path plan. By using common features acquired by a feature detector method, images are stitched through intersection areas where common features are dominantly evident. After the stitching process; robot, target, and obstacle positions are detected and a path plan is extracted from this new map configuration. The second issue is dividing the acquired path plan according to the camera intersection areas and aligning these paths to the related camera as local paths. The entire path has global coordinates acquired from the stitched image. However, these coordinate values cannot be used in this state. Each coordinate has to be updated according to the local coordinate system of the related camera. After the update step, the robot is controlled by taking and processing consecutive images from the related camera (The related camera is the device that sees the robot momentarily). But, this time a new problem appears; how to make the transition from one camera to another where the path continues. In other words, the camera seeing the continuation of the path has to take over the robot tracking task. The camera changing simply can be modeled according to the intersection areas. When the robot appears in these intersection areas, the other camera where the local path as next part of the global path continues, start tracking the robot and the previous camera is stopped. Then the next camera is activated, the target position is updated by taking into account the end of the path in the local area. This process continues until the mobile robot successfully reaches the target position.

Such a working mechanism may not be needed if separate image processing units are employed. But, this time such a design will dramatically increase the cost of the control system. The multi-camera system ensures several advantages in terms of robotic control systems. Therefore, in experiments, the whole images of different configuration spaces are unified with the image stitching method. In the next step, a binary map of the whole image is obtained and required objects in this image are found with image processing. Then the multi-camera-based controller is employed to control the WMR until reaching the target position. Results of control processes are utilized to compare experiments in the aspect of performance, advantages, and disadvantages.

### **4. Material and Method**

There are three stages to construct a multi-camera-based mobile robot control infrastructure in this study. In the first stage, configuration space, camera calibration, image processing, and controller tasks are modeled. In the second stage, the path planning task is performed and the acquired path is resampled. In the third stage, multi-camera hardware is utilized to control WMR in each iteration. These stages are illustrated in Figure 1.

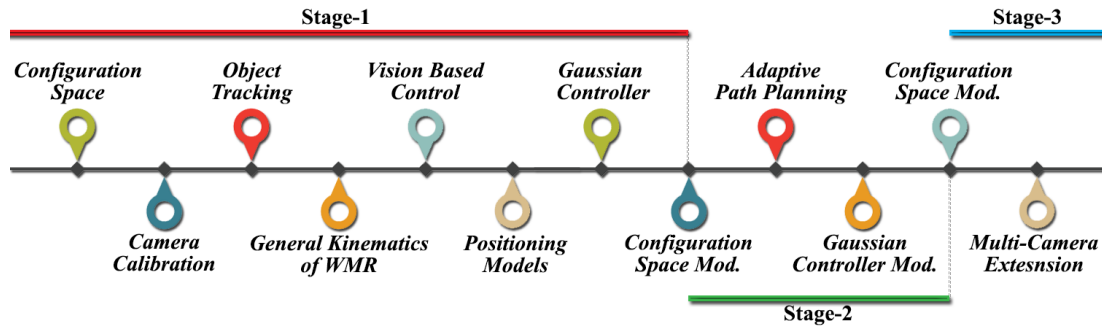


Figure 1 Stages for the multi-camera control model

### 4.1. Configuration Space

There are several setups for EVC infrastructure; the camera can be horizontally, vertically, or diagonally placed relative to the floor with a single or multi-camera option. In this study; four cameras have been vertically placed to the ceiling, thus the floor is seen by them as bird's eye view. Since the utilized vehicle is a wheeled mobile robot (WMR), this camera configuration ensures an applicable infrastructure.

Configuration space has been observed through four cameras that have the same specifications. All cameras have been placed to a fixed position with the same heights from the ground. Figure 2 demonstrates working space representatively. The brown shapes represent the obstacles. Cameras are expressed with C1, C2, C3, and C4. The viewing area for C1 consists of the multiplication of C1\_x and C1\_y. Intersections of the viewing area of two cameras are C1-C2, C1-C3, C2-C4, and C3-C4. There is one area (C1-C2-C3-C4) where the viewing areas of all cameras are intersected. This situation means that there are several areas jointly tracked by different cameras. In addition, the remaining areas are observed with only one camera. Blue objects (T1, T2) represent the target positions. Red objects (I1, I2) represent boundary positions where the robot starting to enter or exit (from) the viewing area of two cameras at the same time on the path. Rp1, Rp2, and Rp3 are reference points between two obstacles. They are only utilized for showing the shortest path (desired path) and have no functions in path planning tasks.

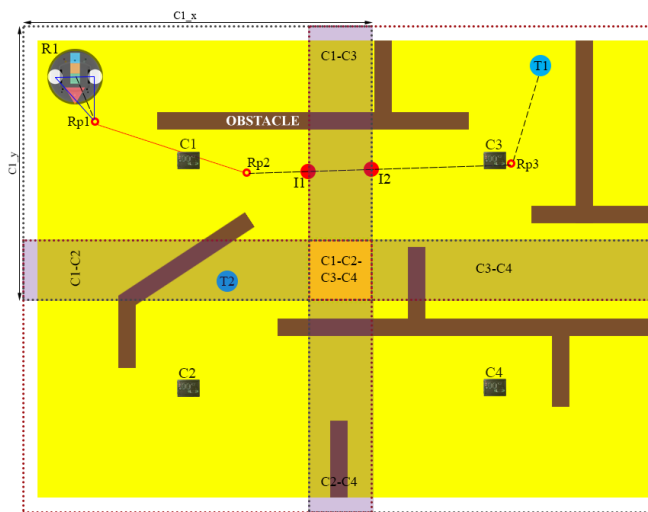


Figure 2 Working environment for the designed control system (Representative)

### 4.2. Image Stitching

Image Stitching is one of the particular studying fields that are commonly researched and it hosts several problems needed to be overcome. Generally, there are two basic goals; (a) superimposing the images taken from the same position and different angles and (b) integrating identic intersection points in most convenient form. The main problem with image stitching is the component size difference between the region  $x$  and  $x'$  because of the difference between angles, Figure 3 (Brown, 2003). In the equations (Brown, 2003) (1), (2), (3), and (4), the components connected by  $x$  have been shown;

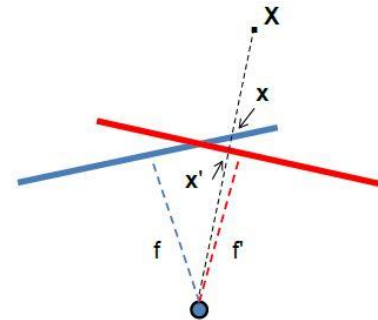


Figure 3 Changes for parameters due to angle

$$x = K[rt]X \tag{1}$$

$$x' = K'[r't']X' \tag{2}$$

$$t = t' = 0 \tag{3}$$

$$H = K'R'R^{-1}K^{-1} \text{ to be, } x' = Hx \tag{4}$$

In equations,  $K$  and  $K'$  are the matrices used for measurements (calibration). The parameter  $X$  is the real object location.  $x$  and  $x'$  represent the object's different positions stemming from another angle shooting.  $R$  and  $R'$  are matrices used for rotation procedure.  $t$  and  $t'$  are matrices for translation procedure. Figure 4 demonstrates the difference of distances between the components. This difference originates from the camera angle. The red dot is common to both images. A component from the second shoot has been pointed by a green-colored dot.



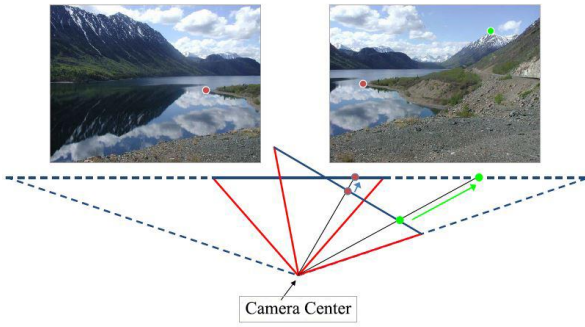


Figure 4 Photo shots taken from the same camera center and different angles (Photo: Russell J. Hewett)

In this study, the input images for the stitching process, are obtained from the four cameras that are vertically placed to the ceiling. These images are mapped horizontally or vertically relative to the camera locations by superimposing common areas with the next intersecting camera image. Although this process is similar to creating a panoramic image, it is different from each other in terms of the location in which the image is taken. Input images for a panoramic image are generally taken at different angles with a single camera from the same camera center. On the other hand, within this study, input images are obtained from multiple cameras with different camera centers and the same angle (perpendicular to the surface). Generally, creating a panoramic image with images taken from the same spot is more prone to distortions in the image. This situation stems from the difficulty of matching the intersection points of the images because of the different angles of the input images. If the matchings at these intersections are not sufficient, the stitching success at the relevant region will be low and visible distortions will occur. In images taken consecutively in the direction of both x and y coordinates from the central view, the presence of common intersection areas closest to each other due to the shooting angle is an enhancement factor.

The performance of a multi FVCs is promising since the images are captured within the identical angle. Thus, the matching ratio of intersection regions is very high, the stitching process can be initiated from any required image. The SURF (Bay, 2008) or SIFT (Lowe, 2004), (Gonzalez, 2002) can be utilized to detect the key points when image properties are extracted. In this study, the SURF detector has been used. The pseudo-code executed for the stitching process is as follows:

1. Input images (2) as parameters.  $G(n)$  and  $G(n-1)$ .
2. Feature extraction by SURF detector.
3. Compute the matching points.
4. Implement the RANSAC to presume a transforming for homography then overlap the image spots,  $T(n)$ .
5. Transform the images utilizing the homography.
6. Perform the stitching operation.
7. The whole process is repeated to stitch the following image.

Image properties are detected and matched as  $G(n)$  to  $G(n-1)$  – (common intersection regions). The SURF features are extracted from the black-and-white transformation of the first image. Because the images are close enough to the camera, a projective conversion is used. If pictures are farther away, an affine transformation is used. Then, in the iteration process, the SURF properties of the  $G(n)$  image are extracted. Matching of these extracted properties between  $G(n)$  and  $G(n-1)$  is performed. The geometric transformation of  $T(n)$  mapped from  $G(n)$  to  $G(n-1)$  is calculated by the RANSAC method [30] using property mappings and taking the previous property mappings as parameters. Transformations mapped from  $G(n)$  into panorama image/view  $T(1) * \dots * T(n-1) * T(n)$  are calculated. It is obtained by multiplying itself and the previous transform together. Moving from the situation that "the center of the captured scene exhibits the least distortion", a good panorama can be acquired by changing the transformations. These changes are performed by inverting the transform for the central image. Then this transform is applied to the other components. This can be neglected, however, since multi FVCs all receive images from the same vertical angle and different positions. Because angle-induced distortions hardly ever occur.

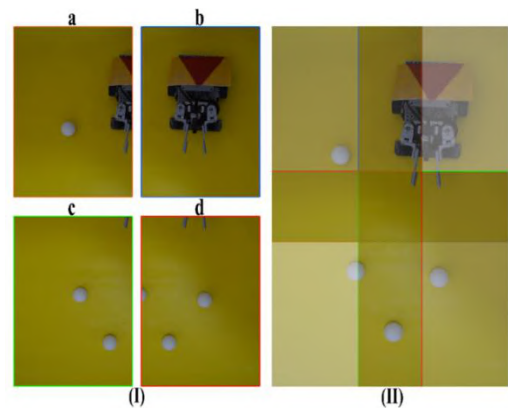


Figure 5 (I) Images obtained at the same angle from different camera positions (II) stitched the state of four-images

In Figure 5 (I), four images (a, b, c, d) taken from the different positions and same angles are stitched on common intersection points. It should be noted that all the cameras have the same specifications. (II) The opacity values have been changed so that the stitched areas in the images look better.



### 4.3. Image Stitching

Object detection and tracking task are performed by utilizing color-based segmentation. To improve the quality of the detection process color quantization (Mota, 2001) is used. To detect object positions, simple color labels are used. To detect orientation, a triangle-shaped red label is employed. The form of the robot positioning scheme with related components (robot and target labels) is illustrated in Figure 6 (a). Angle values in Figure 6 (b) are calculated to be used as input for the control process.

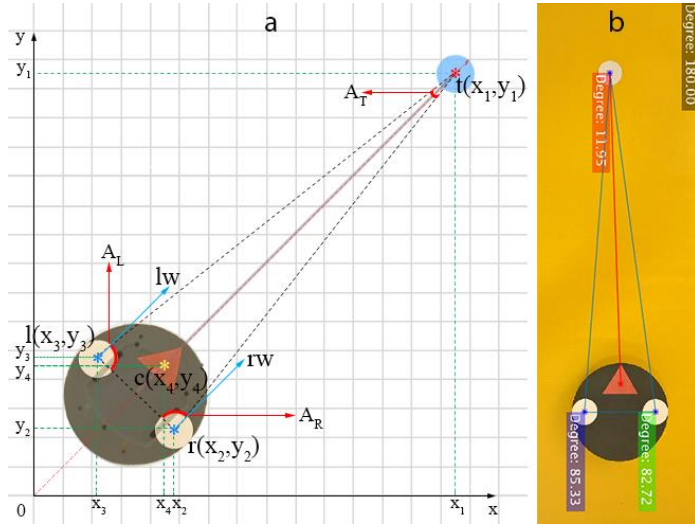


Figure 6 (a) Positioning mode for robot, (b) Physical world

The white circular labels (l, r) represent robot wheels, red triangle label (c) is utilized to acquire information about robot direction and the blue label (t) is the target. After the centroids have been computed, the regions are separated based on color. Each separated object linked corner points of the triangle where lines are intersected. These centroid and angle values are computed for each image obtained from the camera in real-time. After that, all angle and centroid parameters are assigned and new inputs for the control step are recalculated. The velocities of wheels are calculated and sent to the robot in each update iteration. The positioning model scheme for triangle form is illustrated in Fig. 6. The ‘c, l, r, t’ asteriks are centroids of the labels mentioned previously. In addition, ‘AR, AL, AT’ denote the Right-Left wheel, and Target Angles, respectively. To adjust angular parameters being input to the controller, internal angles of the virtual triangle are used. Whenever the robot moves under FVC, the coordinate system in 2D (x-y) space is updated periodically using the angle changes. Ultimately, velocity parameters are accurately calculated by using these angle values.

### 4.4. Adaptive Artificial Potential Field Principles for Path Planning

Attractive Potential Field ( $P_{att}$ ): It is an attraction field that is created by resultant of attractive forces in a region. It is used to pull the object to the target position in configuration space. The magnitude of this force generally maintains a fluctuating pattern until the robot reaches the predefined position. Repulsive Potential Field ( $P_{rep}$ ): It is a repulsion field that is created by the resultant of repulsive forces in a region. It pushes the object to avoid obstacles and unseen locations. The magnitude of this force generally demonstrates a variable character according to the global positions and distance values between moving objects and obstacles. Gradient vectors are utilized to define these forces

and they are specified as magnitude and direction. The mentioned forces are shown in Figure 7 for an obstacle-hosted configuration space.  $F_{att}$  is the attractive force,  $F_{rep}$  is the repulsive force and  $F_{total}$  is the resultant of these two forces.

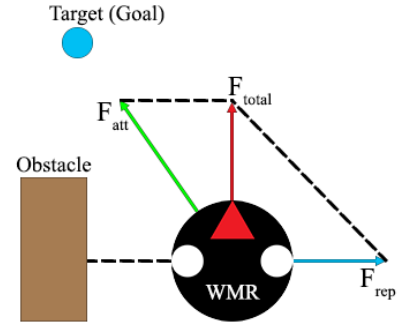


Figure 7 Potential field forces

The attractive field between robot and target is created to pull the robot to the target position. Attractive potential field (5) formed by target and robot parameters is found by the following equation;

$$P_{att}(q) = \begin{cases} \frac{1}{2} \zeta d^2(q, q_h), & d(q, q_h) \leq d^*_{h} \\ d^*_{h} \zeta d(q, q_h) - \frac{1}{2} \zeta d^*_{h}{}^2, & d(q, q_h) > d^*_{h} \end{cases} \quad (5)$$

$d(q, q_h)$  is the current distance between the robot and the  $q_h$  target.  $\zeta$  is attraction gain and  $d^*_{h}$  is the threshold being the next value of the conical form of second-order function. Repulsive potential field (6) formed by obstacle and robot parameters is found with the equation below;

$$P_{rep}(q) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left( \frac{1}{\rho(q)} - \frac{1}{Q^*} \right)^2, & \rho(q) \leq Q^* \\ 0, & \rho(q) > Q^* \end{cases} \quad (6)$$

In this equation,  $\eta$  states repulsion gain,  $Q^*$  is the distance threshold creating a repulsive force on the robot for an obstacle.  $q_c = (x_c, y_c)$  is a unique configuration in the nearest obstacle to  $q$ .  $\rho(q) = \|q - q_c\|$  is the shortest path between the robot and the obstacle. If the distance between the robot and the obstacle is larger than  $Q^*$ ; repulsive force is not applied to the robot (object). The  $\zeta$  and  $\eta$  gain parameters and the  $d^*$  and  $Q^*$  threshold parameters are adjusted empirically in general. Similarly, the repulsive force is the gradient of repulsive potential function.

There may be a significant number of obstacles in the configuration space. The total repulsive potential is the sum of the repulsive potential fields stemming from all these obstacles. The total potential field is simply expressed with the following equality (7);

$$P(q) = P_{att}(q) + \sum_{i=1}^n P_{rep}(q) \quad (7)$$

In this equation, n express the number of obstacles. The total artificial force can be formed with the following term (8);

$$F(q) = F_{att}(q) + \sum_{i=1}^n F_{rep}(q) \quad (8)$$

To adjust scaling factors of artificial potential field functions following (9), (10) equations are used.  $d(q, q_o)_{daf}$  express the distance values acquired from virtual sensors. These virtual sensors are located at the front, front-left (between front and front-left-diagonal), and front-right (between front and front-right-diagonal).  $d(q, q_h)$  represents the distance between robot and target. The repulsion force scaling factor ‘ $\eta$ ’ is increased with decreasing of the  $d_o$  distance (distance to an obstacle) in configuration space. Similarly, the attraction force scaling factor ‘ $\zeta$ ’ is increased with decreasing of the  $d_t$  distance (distance to the target) in configuration space.

$$\eta = \eta + \eta * \gamma \left( \frac{1}{\sqrt{d(q, q_o)_{daf}}} \right) \Rightarrow d_o \downarrow \quad (9)$$

$$\zeta = \zeta + \zeta * \delta \left( \frac{1}{\sqrt{d(q, q_h)}} \right) \Rightarrow d_t \downarrow \quad (10)$$

#### 4.5. Gaussian Controller Method

The mobile robot control method is designed by inspiring from the basic Gaussian function. A cost-efficient vision-based control system is modeled with it. The function is utilized to determine parameter changes for the robot motion controller. The Gaussian simply ensures characterizing the error elimination model for a mobile robot navigation infrastructure. Therefore, this function has been selected because of providing efficient and highly accurate outputs. Position and orientation parameters generate control inputs that are used for modeling wheel dynamics within the controller. The general single-dimensional Gaussian function is given in (11).

$$f_G(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (11)$$

$$x = \left| \frac{A_L - A_R}{\varphi} \right| \quad (12)$$

$$S_A = S_{max} * (1 - f_G) \quad (13)$$

$$S_L = \begin{cases} P_{max} * \tau + S_A, & A_L < A_R \\ P_{max} * \tau - S_A, & A_L > A_R \end{cases} \quad (14)$$

$$S_R = \begin{cases} P_{max} * \tau + S_A, & A_L > A_R \\ P_{max} * \tau - S_A, & A_L < A_R \end{cases} \quad (15)$$

$$S_{L,R} = P_{max} * \tau + S_A, \quad A_L \cong A_R \quad (16)$$

The input parameter  $x$  (12) is the difference of angle parameters ( $A_L - A_R$ ). It corresponds to the  $\theta$  angle in general WMR kinematics. The error can be estimated by smoothing the data with a large Gaussian kernel ( $\sigma = 10$ ). The overall standard deviation is fixed to ‘0.41’ in the range of 0 – 1. This value has been found empirically for the designed controller model.

If the difference of input parameters approaches zero ( $A_L - A_R \Rightarrow 0$ ), then it means that robot direction is straight toward the target and error is almost equal to zero.  $\varphi$  value is utilized as a scaling factor for the input value. If  $x$  value approaches ‘0’, then  $f_G$  converges to ‘1’ and if  $x$  value approaches to ‘ $\infty$ ’, then  $f_G$  converges to ‘0’. This situation is inversely proportional to the desired result.  $S_A$  – ‘Speed Additive’ is used to weight the velocity parameters and it is computed by using (13). We have used (14), (15) and (16) equations to determine  $S_L$  – ‘Speed of

Left Wheel’ and  $S_R$  – ‘Speed of Right Wheel’ of the mobile robot.  $P_{max}$  is the maximum pulse value adjusted for the velocity calculation of the robot. ‘ $\tau$ ’ is used as a constant scaling factor.

#### 4.6. Robot Control in Multi-Camera Configuration Space

All designed controllers and positioning models are generally modeled with a fixed single FVC configuration. In this study, to create a scalable configuration space; four cameras have been used. These cameras acquire image frames from configuration space as shown in Figure 8. These input images are stitched to get a single image of the area. After this stage, object detection is performed on this single image, so that the binary map is obtained. Next step, the path plan is extracted from this binary map with A-APF (Adaptive Artificial Potential Field). Then, the controller method drives WMR on this path in real-time until the robot reaches the target.

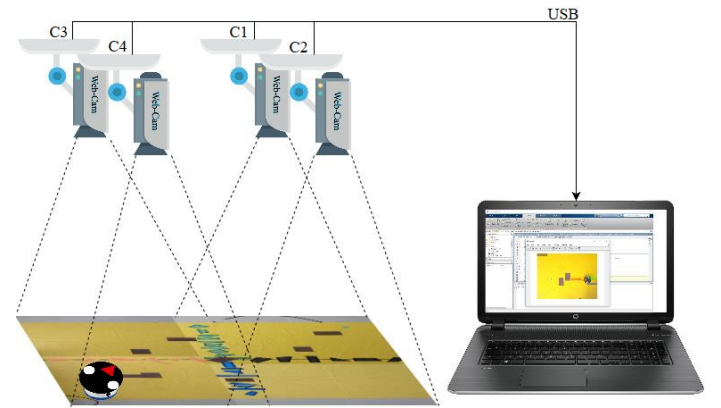


Figure 8 Multi-camera – Computer connection and configuration space

In the first stage, a path is acquired from the stitched image. It is stated with the term  $S_{path}$ . This path parameter includes path coordinates obtained from the A-APF process. At the next stage, this variable sequence is divided (17) according to the number of minimum required cameras.  $S_{x_{path}}$  exemplifies a piece of path within the viewing area of camera  $x$  ( $C_x$ ). The acquired path is partitioned according to the camera viewing areas where the path passes. For example; if the path plan is in the two cameras' field of view, it is divided into two pieces. The ends of these path fragments are used to model switching between the cameras. These endpoints are called intermediate targets. Only the end of the last path fragment (the main target) is not considered for this switching process. The robot starts to move according to the path fragment; firstly it tries to reach an intermediate target from its initial (starting position) position. When it arrives to the intermediate target, its available position is designated as starting position and the target is assigned as intermediate or main according to the available path fragments. Divided path coordinates are dispersed to the regions where path is hosted with the rescaling process by using (18).  $x_{new}$  and  $y_{new}$  are the new coordinates ( $x, y$ ) that are required to compute in undistorted space of image. The width and height are  $X_{und}$  and  $Y_{und}$  in the undistorted image. The path coordinates are  $x_{old}$  and  $y_{old}$  in stitched image. The width and height of the distorted image are  $X_{dis}$  and  $Y_{dis}$ . By using (19) and (20) conditional statements, the path is controlled if the mobile robot appears in the intersected area.  $I_{nm}$  expresses the intersected region; this parameter receives 1 or 0, the value 1 signifies that the robot is

in  $I_{nm}$  intersected region.  $C_{act}$  expresses the active imaging device; it has to be equal to one of the camera ( $C_{n/m}$ ) in the environment. If the robot is not in the intersected region then the currently working camera ( $C_{pre}$ ) is assigned to the  $C_{act}$ .  $I_{all}$  exemplifies the intersected region where all imaging device can mutually track.  $t_{x_i,y_i}$  represents the target coordinates in the 2D image space.

$$S_{path} \Rightarrow S_{1_{path}}, S_{2_{path}}, \dots, S_{n_{path}} \wedge 1 \leq n \leq 4 \wedge n \in \mathbb{Z} \quad (17)$$

$$x_{new} = \frac{x_{old} * X_{umd}}{X_{dis}} \wedge y_{new} = \frac{y_{old} * Y_{umd}}{Y_{dis}}, \forall (x_i, y_i) \wedge (x_i, y_i) \in S_{path} \quad (18)$$

$$I_{nm} = 1 ? C_{act} = C_{n/m} : C_{act} = C_{pre} \quad (19)$$

$$I_{all} = 1 ? C_{act} = C_n \Leftrightarrow \exists t_{x_i,y_i} \in C_n : C_{act} = C_{pre} \quad (20)$$

The whole multi-camera-based control process flow is illustrated in Figure 9. After acquiring the path plan, the controller triggers the motion of the mobile robot. The robot is tracked with the related camera where it is in the field of view. When the robot moves towards the field of view of another camera; firstly, the control process is preceded until the robot fully appears in the intersection region. According to related cameras viewing this intersection region, the related FVC is activated concerning the view field of the other camera where the next part of the extracted path is located. When this second camera is activated, the first camera is deactivated instantly. This means that only one camera is activated at a time. This process continues until the mobile robot reaches the position of the main target. At each intersection point, the next camera takes over the

tracking process, and the control task proceeds in this local configuration space. The next camera is the device covering the continuation of the path part. The extracted path from the whole map can be in one camera field of view or more. This situation changes according to the distance of the target, obstacle positions, and robot position and direction. In each camera region, the controller is operated without any additional workload. The WMR is actuated by the controller when there is an intermediate or main target. The summary of the multi-FVC based control system is illustrated in Figure 10.

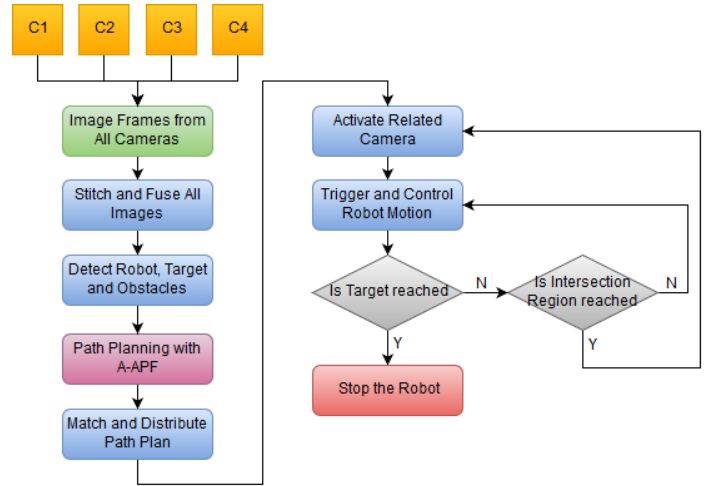


Figure 9 Multi-camera based control process flow of the designed system

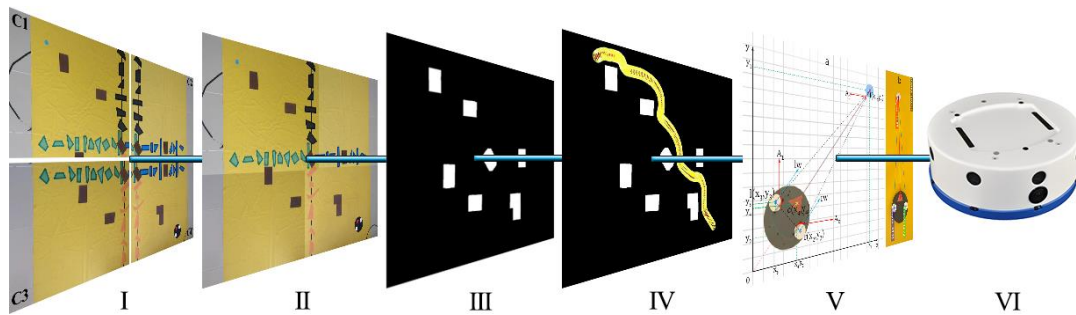


Figure 10 Summary of the multi-camera based control system: (I) Simultaneously acquired images from all cameras (II) Stitched image (III) Detected obstacles (IV) Extracted path plan between robot and target (V) Calculation of controller inputs (VI) Robot implementation

#### 4.7. Configuration Space Properties

A multi-camera experiment has been performed with four webcam cameras. In our single camera-based previous work, a CCD camera is used for visual-based control. CCD camera provides more color depth compared to a webcam, but it is very expensive. Therefore, this cost is needed to be reduced for a multi-camera configuration. On the other hand, webcams are easy to use, platform-independent in terms of software and hardware, adaptable to any environment with proper configuration. Of course, CCD cameras have their specific advantages. However, such properties are not required for this configuration.

Each webcam is adjusted to Super-VGA (SVGA) resolution. Imaging devices (or cameras) have been placed to the ceiling in a way that their position perpendicular to the ground. Cameras have been placed about 210 cm from the floor. According to these camera positions each camera covers about 3.05 m<sup>2</sup>, so in total 12.20 m<sup>2</sup> area may be processed for this configuration. It should be noted that all the webcams are the same models with the same specifications. Each imaging device is separately connected to the computer through USB ports. This physical configuration has been demonstrated in Figure 11 (I).

Several distinct shaped and colored labels have been emplaced on the floor as different properties for the utilized feature detector. The utilized SURF detector searches the distinctive properties and matches these properties in an image according to the given input image. The shape size and colors



have been randomly determined. The only important factor is the position of these labels. Each camera covers a single plain area

including two axes labels according to camera position as shown in Figure 11 (II).



Figure 11 (I) Multi-camera configured real operating environment (II) Colored and randomly shaped labels on the operating floor

The webcam (C920) that is utilized for multi-camera configuration is demonstrated in Figure 12. It has 3.2MP maximum video resolution and 15MP image resolution. However, SVGA (800x600) is used for visual servoing tasks. Therefore, even more, basic webcams will be enough to deal with the indicated resolution. In terms of image quality and noise reduction, it is a good choice. On the other hand, it supports a 30fps frame capturing speed. They are fixed to aluminum support brackets with plastic clamps.

the black lines are the guidelines; they are not constraints for viewing area of the cams.

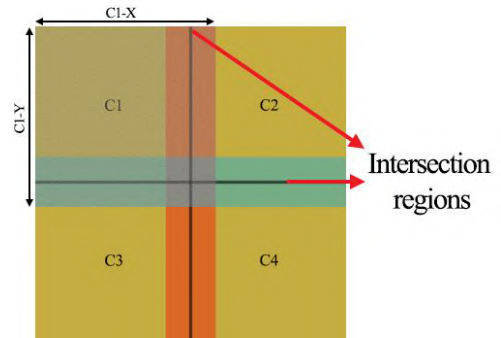


Figure 13 Camera positions and camera intersection regions

## 5. Experiments and Observations

### 5.1. Experiment (Conf-1)

Images captured via the imaging devices with FVC configuration are demonstrated in Figure 14. The grayish areas on the left or right edges in the images are the real floor texture of the experiment environment. The ball caster wheels are too small and wheels of the mobile robot are quite thin. Thus, the plastic-material-based layer is utilized to prevent the wheel from jamming to the suture area of the floor tiles. On the other hand, the yellow color is one of the most sensitive colors against the illumination changes. The blue circular label is the target and the brown rectangle labels are obstacles. The remaining colored objects on the floor are utilized as the common intersection properties for the stitching process.



Figure 12 The webcam used in the multi-camera configuration

The positions of imaging devices are demonstrated in Figure 13. IDs are given as C1 to C4 to the devices respectively. The camera viewing area has been indicated with the blurred area. An example viewing area is C1-X and C1-Y area for the C1 camera. Other cameras have similar viewing areas according to their positions. Red and blue regions correspond to the common intersected areas for two webcams. The middle square area body forms the intersected region of all devices. It should be said that

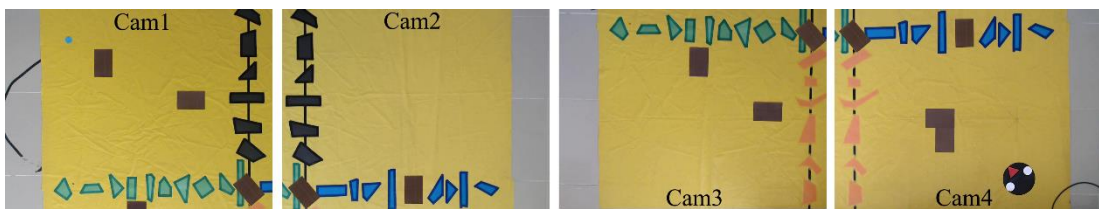


Figure 14 Real acquired areas covered by the cameras



The stitched image(s) are shown in Figure 15 (I) as the first configuration (Conf-1). The images are simply superimposed and re-scaled. To increase the accuracy of the utilized detector, color-based labels have been used. Hereby, images are precisely stitched to each other. The robot is in the C4 (Cam4) viewing area and the target is emplaced under the viewing area of C1

(Cam1). There may be a different level of shadowing in the images taken from cameras. Because of such differences, several negligible inconsistencies in stitched objects may emerge. They are negligible because all these errors are too small to be effective on path planning and visual servoing tasks.

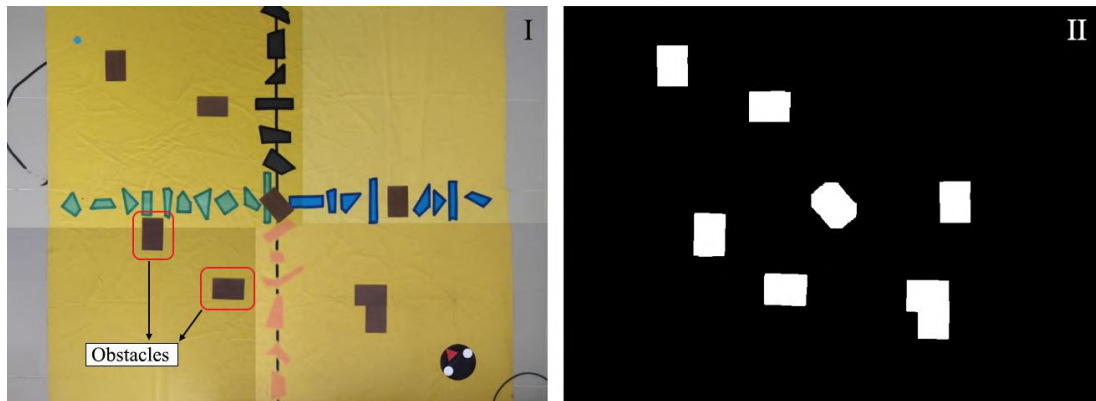


Figure 15 (I) The stitched image to acquire Configuration-1/Conf-1 (II) Obstacle map acquired from the stitched image

After acquiring stitched environment space, an obstacle detection task is executed on this space to extract the obstacle map, Figure 15 (II). Obstacles are detected and the environment is converted to the binary map. The value '1' is assigned to the obstacles and the value '0' is assigned to the remaining area. This task is known as 'Binary Image Acquisition'. Robot and target positions are also detected and stored for further processes. To increase path safety, object dilation is used on detected obstacles.

The adaptive artificial potential field (A-APF) generates the path planning on the acquired map. 192 frames have been acquired in simulation, so 192 different position sampling is taken on the acquired path. These positions are used as input to a visual-based control process. Simulation has taken about 11,2s, so 17,142 frames per second are acquired. The path cost of simulation is calculated as 1037,53 px. The robot tries to approach the target position in each iteration by calculating the next suitable position. In Figure 16, the formed path by A-APF has been given.

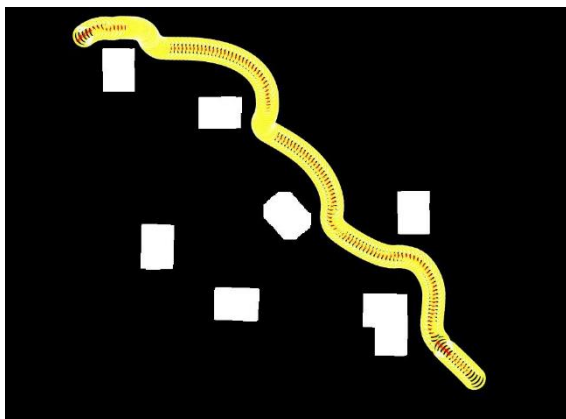


Figure 16 Simulation path with A-APF

The Attractive potential field (A-PF), repulsive potential field (R-PF), and total potential field (T-PF) forces against the processed frame numbers are shown in Figure 17 (I). Attractive potential field force has increased for a while from the initial state, then it has decreased until the robot arrived to the target position. On the other hand, repulsive forces show variable patterns until the task is finished. Total potential force parameters are computed by combining repulsive and attractive forces. As it can be seen, total forces are quite similar to the opposite direction values of the attractive forces. Therefore, attractive forces are the main influencers on the total force.

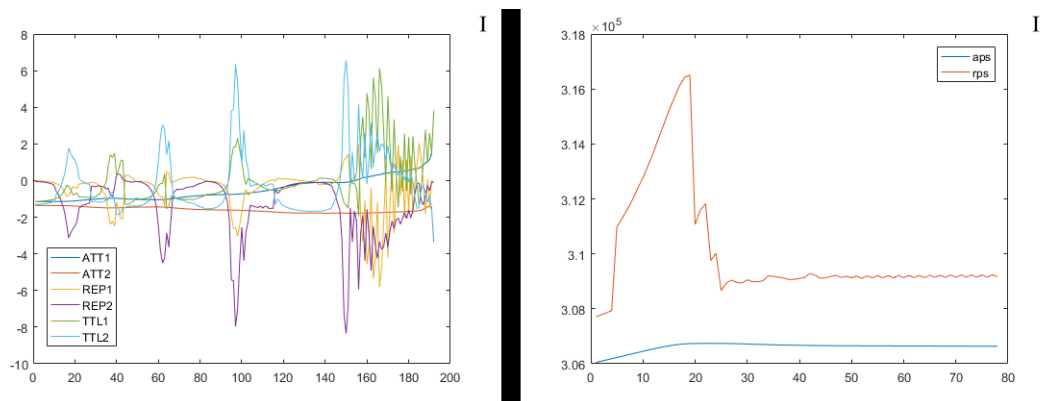


Figure 17 (I) Potential force and (II) Potential scaling factor parameter changes

The attractive and repulsive potential scaling factor (aps and rps) variations are shown in Figure 17 (II). The APS accretes by starting from the initial point, then it lessens with small steps as iteration continues. The RPS accretes aggressively firstly, then it lessens in a vertical manner. It approaches more stable states with some little fluctuations after a while. On the other hand, the potential calculating threshold value shows small changes and the minimum calculating threshold value shows no changes.

The acquired path plan has been used as a reference path which has to be followed by the mobile robot. The robot

controller is triggered to make motions according to the reference path in real-time.  $A_R$ ,  $A_L$  and  $A_T$  values are calculated as  $73.81^\circ$ ,  $69.19^\circ$ , and  $37.0^\circ$  respectively at the first starting frame according to the intermediate target. At the end of the control task, these values were calculated as  $59.29^\circ$ ,  $61.41^\circ$ , and  $59.29^\circ$  respectively. The robot has successfully reached the pre-defined target of about 10.5s. Starting/finishing positions of the robot are shown in Figure 18.

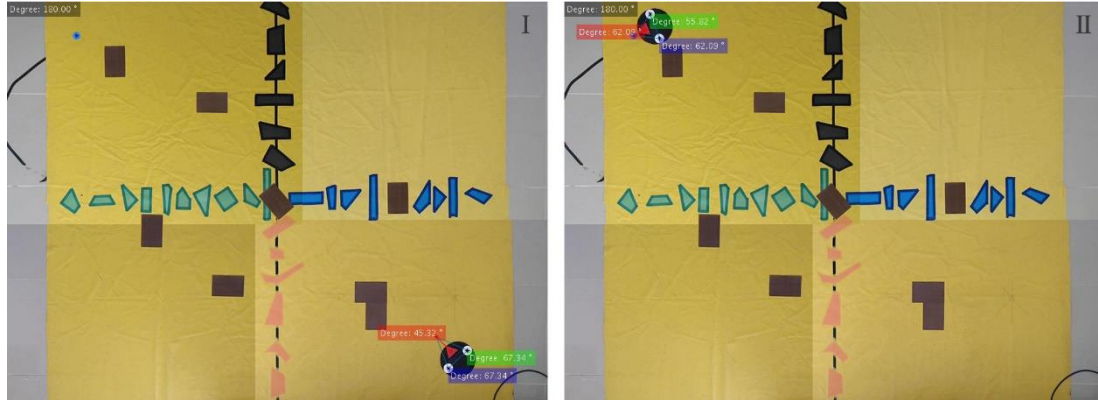


Figure 18 (I) Starting position and (II) finishing position of the mobile robot

Sample frames from the working environment, while the visual control process is performed, are exhibited in Figure 19. The 'f1, f2 ... f8' frames represent distinct positions of the robot as time passes. In total 102 frames have been processed, so 9.714 FPS is achieved until the task is completed. Half of the

total 102 frames (51 frames) are neglected and not stored in physical disk storage to keep performance at a stable level. (Even number frames are processed but not stored, only odd number frames are stored.)

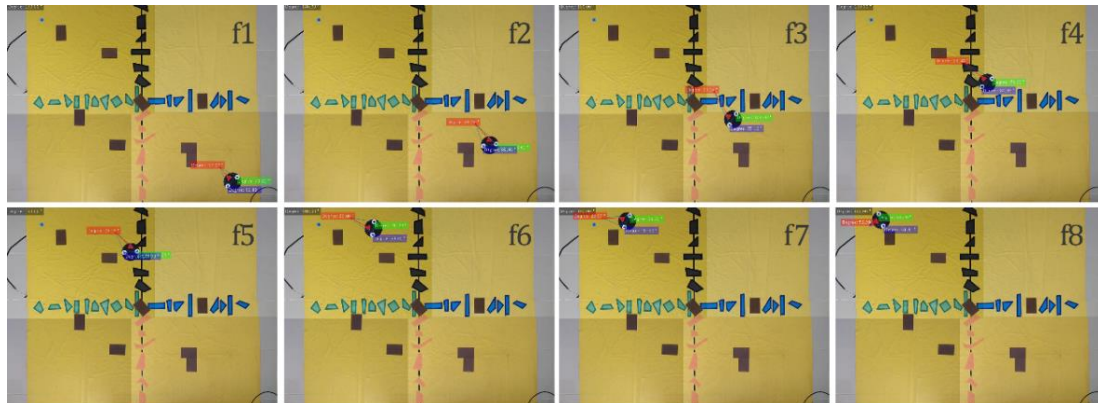


Figure 19 Sample frames from visual-based control task

The simulated path that has to be tracked by the robot (I) and real robot motions in several selected frames (II) are given in the following Figure 20. The mobile robot has tracked the path plan with the control system. The path created by robot motions until the target position is determined a little lesser than the simulated path. The primary reason behind this situation is

the dynamic changing of local targets. The local target is determined according to the cartesian coordinates of the simulated path according a pre-defined threshold value until reaching the main/final target.

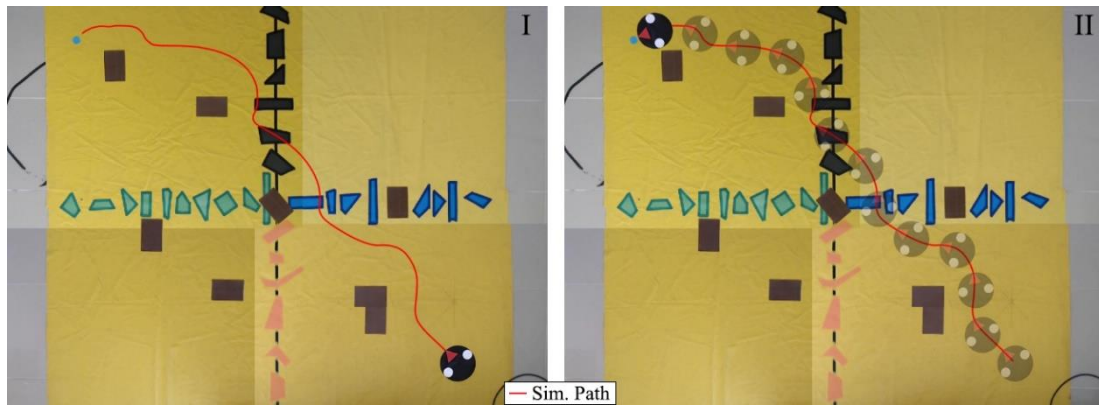


Figure 20 (I) Simulated path and starting position of robot (II) Simulation path and mobile robot motions in several frames

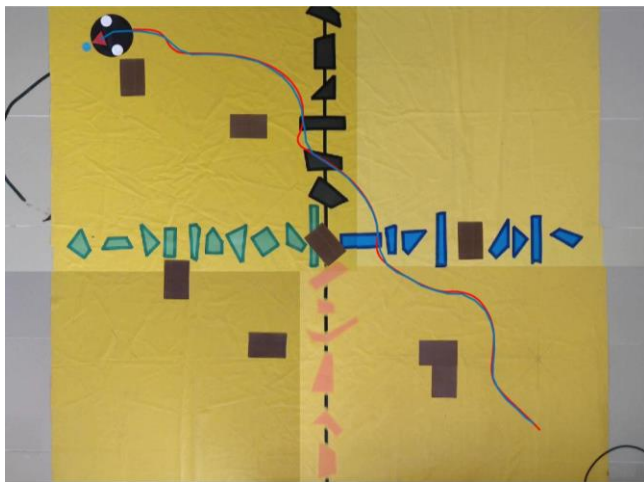


Figure 21 Simulation path (red) and Real path (blue)

Except for the start and finish positions, several intermediate positions of the robot are given in the figure. Eventually, the mobile robot has smoothly tracked the input path plan. Some error may appeared between the actual and simulation paths. However, this error is too small to affect cost, thus, this error can be ignored. The physical/real path formed by the mobile robot has been given in Figure 21. As seen, the real path emerges a little less costly than the simulation path. The path length is determined about 995,16px. Eventually, a 4% difference emerges between simulation and real paths.

The angle parameter changes of the control points (mobile robot wheels) and target are shown in Figure 22 (I). The intermediate destination position is continually inspected in control iterations. If it is required than, the target position is updated. The angle value have significantly risen when the mobile robot begins to perform rotation motions. The  $A_T$ ,  $A_L$  and  $A_R$  angle parameters get close to the each other at the end of the control process.

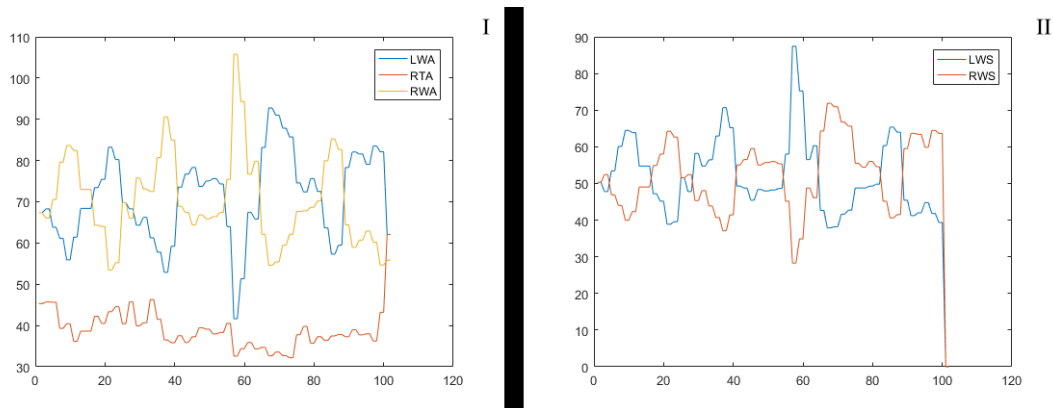


Figure 22 (I) The control point's angle changes (II) Left and Right velocity changes of WMR wheels

Velocity parameters of the right and left wheels are shown in Figure 22 (II). The changes in velocities similar to the  $A_L$  and  $A_R$  angle parameter changes with different amplitude. The primary reason is that the angle parameters affect the velocities of mobile robot wheels directly. The values of velocity and angle parameters are a bit erratic, since, two tasks are slowing down the system. These tasks are the controller sensitivity and the sample image frame storing to the disk.

### 5.2. Experiments with Different Configurations (Conf-2/3)

Experiments have been performed on two different operating environment configurations besides the previous configuration (Conf-1). The experiment environment and acquired path plan with the A-APF method are given in Figure 23 for Conf-2 and Figure 24 for Conf-3. Superimposing and rescaling processes are performed at different levels compared to the previous configuration. This situation generally stems from



the stitch order of captured images. Therefore, it can be said that

the stitch order of images directly affects the final image output.

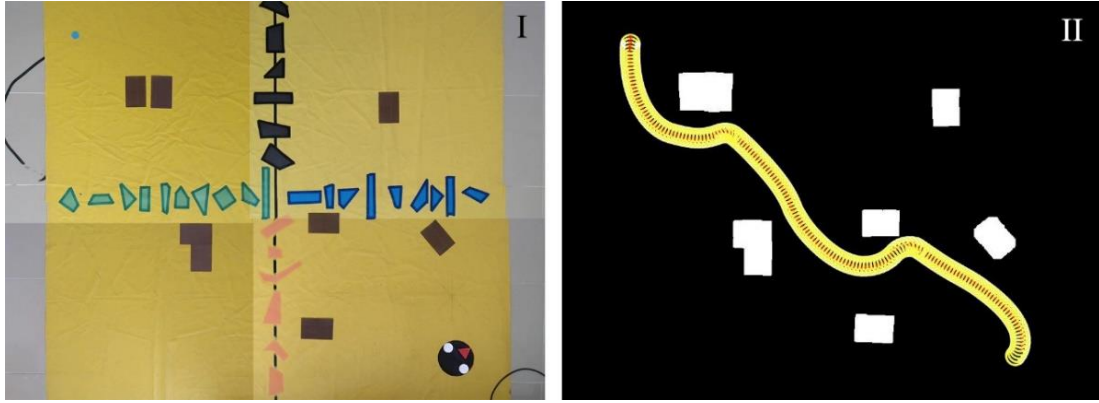


Figure 23 (I) Configuration-2 (Conf-2) and (II) simulated path plan

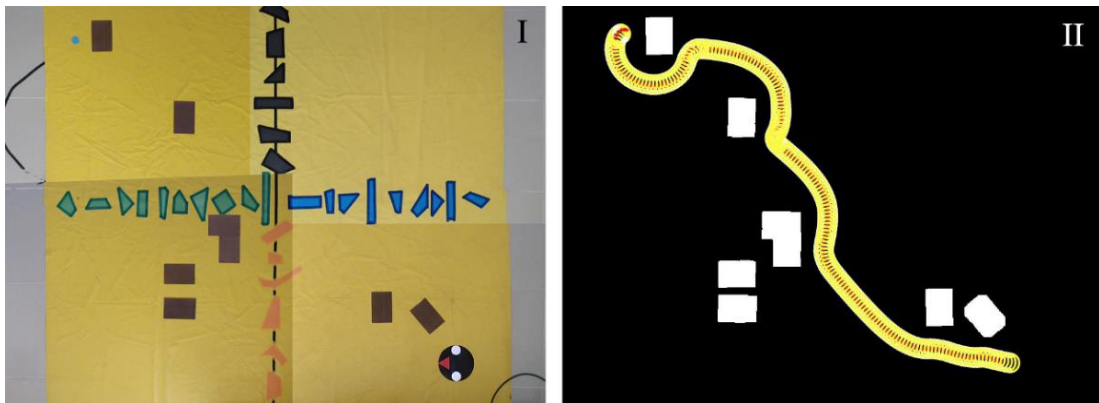


Figure 24 (I) Configuration-3 (Conf-3) and (II) simulated path plan

The mobile robot has successfully reached the pre-defined target under configurations with different obstacle alignments in simulation experiments. In each configuration images taken from the camera can be superimposed differently. The important principle is fusing common intersection areas with a high degree of precision. The starting and finishing positions with angle values by the mobile robot are given in Figure 25 for Conf-2 and

Figure 26 for Conf-3. In Conf-2, the WMR has started (I) with  $A_T = 14.94^\circ$ ,  $A_L = 142.30^\circ$  and  $A_R = 22.76^\circ$  and reached to (II) the target with  $A_T = 57.34^\circ$ ,  $A_L = 61.33^\circ$  and  $A_R = 61.33^\circ$  angle values. On the other hand, in Conf-3, the WMR has started (I) with  $A_T = 32.47^\circ$ ,  $A_L = 65.88^\circ$  and  $A_R = 81.65^\circ$  and reached to (II) the target with  $A_T = 57.03^\circ$ ,  $A_L = 55.80^\circ$  and  $A_R = 67.17^\circ$  angle values.

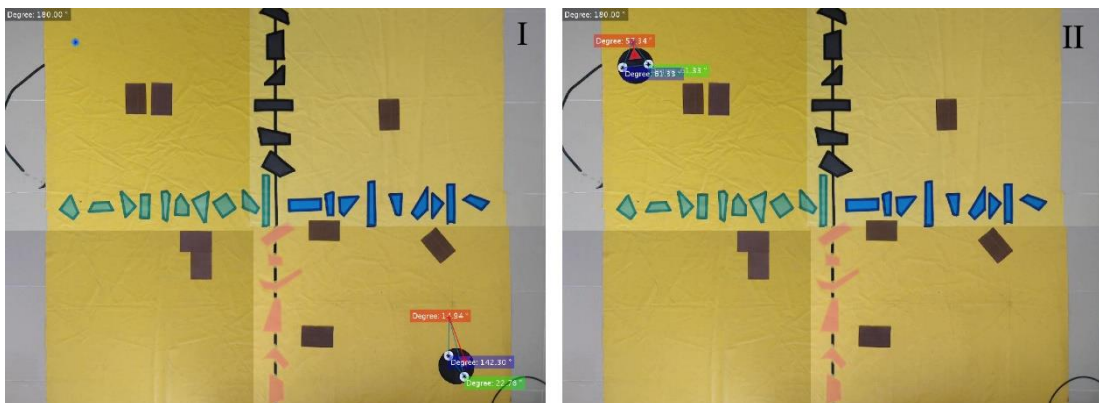


Figure 25 (I) starting position and (II) finishing position for Conf-2



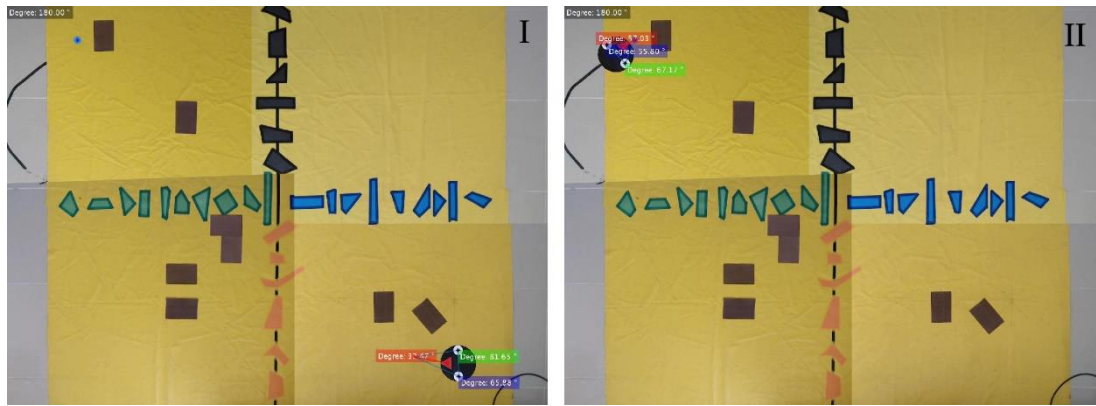


Figure 26 (I) starting position and (II) finishing position for Conf-3

The paths formed by the motion of the mobile robot from the initial position to the target position are given in Figure 27. In each configuration, the object dilation to the obstacles has

been implemented to increase path safety. Similar to the first configuration, the real paths are measured a bit shorter than the simulated path.

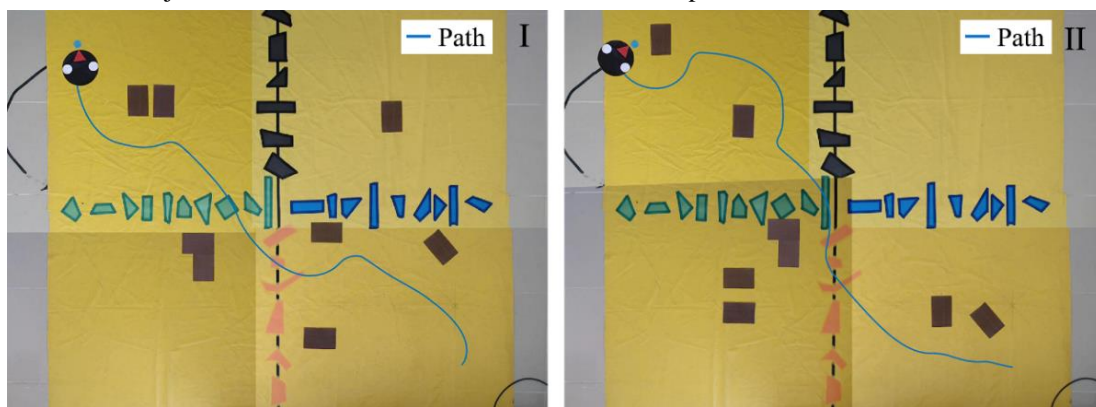


Figure 27 (I) path formed in Conf-2 (II) path formed in Conf-3

### 5.3. Experiment Comparisons

Table 1. Except for the first experiment (Conf-1) simulation has been carried out faster. Compare to the simulation path costs, the real path costs are generally found as less costly. The average difference between simulation and real path costs has emerged about 3,656% for all experiments. On the other hand, it should

Identified path cost and time variables are shown in be indicated that both simulation and real paths are not perfect paths that minimize path cost and increase path safety with the best values. However, it can be stated that obtained paths are closer to the best path option and provide an efficient solution balance between safety and cost.

Table 1 The cost and acquired time parameters for different configurations

Experiment	Time (s) Simulation	Time (s) Implementation	Cost (px) Simulation Path	Cost (px) Real Path
Conf-1	11,2	10,5	1037,53	995,16
Conf-2	11,4	11,9	1088,65	1055,42
Conf-3	12,5	13,8	1143,08	1099,27

### 5.4. General Observations

In terms of scalability, multi-camera configurations provide advantages and disadvantages. The first advantage is eye-in-device equipment is not required. Thus, the the system cost can be decreased. The another advantage is that all the robots can be controlled from one system (actually system may be saturated to an upper limit in terms of robot number). The disadvantage is the number of required cameras may be high for large interior environments. So, the flexibility of the system will reduce. To overcome this issue, cameras with a wide-angle lens or high-

resolution image levels can be used. Image stitching is a time-consuming task. However, this process is only implemented once before triggering the real control task. The instant glare is a problem for this configuration as well. Besides, shadowing can be a problematic issue. Although all the cameras have the same specifications and have been placed to the same height, images taken from these cameras can have a different level of shadowing and illumination. Therefore, these two problems should be researched for the visual-based control systems and these types of issues should be focused on as separate studies.

## 5.5. The Main Influencers for Control Models

Multi-camera-based visual control allows the robot to be operated for large areas in interior spaces. The camera specifications should be the same to acquire better efficiency and performance. Another factor is the number of cameras; an external computer can cope with a certain number of cameras. Therefore, as the number of the camera increases the number of required computers will also increase. This situation is the main drawback of such systems. Illumination and shadowing are big factors for multi-camera configuration as well. Each camera may be exposed to a different level of illumination. This difference may cause an improper stitching process if it is not handled properly.

## 6. Conclusion and Future Works

In this study, a model is proposed for multi-camera configuration for the visual servoing task. Multi-camera provides a scalable platform for visual servoing systems. Unlike the stereovision systems, depth data is not utilized. Besides, the depth information does not ensure any notable advantage for the eye-out-device configuration. This configuration resembles a global positioning system in a way that each camera helps to determine the exact location of the robot. The robot has been arrived the target position in each configuration, successfully. The simulation and real paths may be a little different from each other. However, the robot exhibits compatible motions to the extracted path plan. In the future, we aim to develop the visual control without stitching process. Ultimately, an efficient planning to create feasible path is a critical issue to overcome.

## References

- Siciliano B. and Khatib O., (2008). *Handbook of Robotics*. 1st ed. Berlin. Springer-Verlag.
- Dönmez, E., Kocamaz, A.F. and Dirik, M. A (2018). Vision-Based Real-Time Mobile Robot Controller Design Based on Gaussian Function for Indoor Environment. *A. J. Sci. Eng.* 43, 7127–7142.
- Choset H. M., (2005). *Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementation*.
- Cowan N. J., Weingarten J. D., and Koditschek D. E., (2002). Visual servoing via navigation functions. *IEEE Trans. Robot. Autom.*, 18(4), 521–533.
- Dönmez, E., Kocamaz, A.F. (2020). Design of Mobile Robot Control Infrastructure Based on Decision Trees and Adaptive Potential Area Methods. *I.J. Sci. Tech. Trans. Electr. Eng.*, 44, 431–448.
- Dudek G. and Jenkin M., (2010). *Computational Principles of Mobile Robotics*. 2nd ed. New York: Cambridge University Press.
- Tsitsiklis J. N., (1995). Efficient algorithms for globally optimal trajectories. *IEEE Trans. Automat. Contr.*, 40(9), 1528–1538.
- Cormen T. H., Rivest R. L., and Leiserson C. E., (2001). *Introduction to algorithms*. MIT Press.
- Hart P., Nilsson N., and Raphael B., (1968). A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. *IEEE Trans. Syst. Sci. Cybern.*, 4(2), 00–107.
- Stentz A., (1994). Optimal and efficient path planning for partially-known environments. in *Proceedings of the 1994 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 3310–3317.
- Lavalle S. M., (1998) Rapidly-Exploring Random Trees: A New Tool for Path Planning.
- LaValle S. M. and Kuffner J. J., (1999). Randomized kinodynamic planning. in *Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1, 473–479.
- Rimon E. and Koditschek D. E., (1992). Exact robot navigation using artificial potential functions. *IEEE Trans. Robot. Autom.*, 8(5), 501–518.
- Malis E., Chaumette F., and Boudet S., (2000). Multi-cameras visual servoing. in *Proceedings ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings*, 4, 3183–3188.
- Lippiello V., Siciliano B., and Villani L., (2005) Eye-in-Hand/Eye-to-Hand Multi-Camera Visual Servoing. in *Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control*, 5354–5359.
- Qiu L., Song Q., Lei J., Yu Y., and Ge Y., (2006). Multi-Camera Based Robot Visual Servoing System. in *2006 International Conference on Mechatronics and Automation*, 1509–1514.
- Yoshihata Y., Watanabe K., and Iwatani Y., (2007). Multi-camera visual servoing of a micro helicopter under occlusions. in *2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2615–2620.
- Iwatani, K. Y., and Hashimoto K., (2008). Multi-camera visual servoing of multiple micro helicopters. in *2008 SICE Annual Conference*, 2432–2435.
- Weber B. and Kuhnlenz K., (2010). Visual servoing using triangulation with an omnidirectional multi-camera system. in *2010 11th International Conference on Control Automation Robotics & Vision*, 1440–1445.
- Kermorgant O. and Chaumette F., (2011). Multi-sensor data fusion in sensor-based control: Application to multi-camera visual servoing. in *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 4518–4523.
- Elsheikh E. A., El-Bardini M. A., and Fkirin M. A., (2016). Dynamic path planning and decentralized FLC path following implementation for WMR based on visual servoing. in *2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City*, 1–7.
- Aliakbarpour H., Tahri O., and Araujo H., (2014). Visual servoing of mobile robots using non-central catadioptric cameras. *Rob. Auton. Syst.*, 62(11), 1613–1622.
- Ahlin K., Joffe B., Hu A. P., McMurray G., and Sadegh N., (2016). Autonomous Leaf Picking Using Deep Learning and Visual-Servoing. *IFAC-PapersOnLine*, 49(16), 177–183.
- Alepuz J. P., Emami M. R., and Pomares J., (2016). Direct image-based visual servoing of free-floating space manipulators. *Aerosp. Sci. Technol.*, 55, 1–9.
- Donmez E., Kocamaz A. F., and Dirik M., (2016). Robot control with graph based edge measure in real time image frames. in *24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, 1789–1792.
- Dirik M., Kocamaz A. F., and Donmez E., (2016). Vision-based decision tree controller design method sensorless application by using angle knowledge. *24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, 1849–1852.
- Dirik M., Kocamaz A. F., and Donmez E., (2020). Visual servoing based control methods for nonholonomic mobile robot. *Journal of Engineering Research*, 8(2), 95–113.
- Donmez E., Kocamaz A. F., and Dirik M., (2017). Visual based path planning with adaptive artificial potential field. *25th Signal Processing and Communications Applications*

- Conference (SIU), 1–4.
- Dirik M., Kocamaz A. F., and Donmez E., (2017). Static path planning based on visual servoing via fuzzy logic. 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 1–4.
- Brown and Lowe, (2003). Recognising panoramas. in Proceedings Ninth IEEE International Conference on Computer Vision, 2, 1218–1225.
- Bay H., Ess A., Tuytelaars T., and Van Gool L., (2008). Speeded-Up Robust Features (SURF),” *Comput. Vis. Image Underst.*, 110(3) 346–359.
- Lowe G., (2004). SIFT - The Scale Invariant Feature Transform,” *Int. J.*, 2, 91–110.
- Gonzalez R. and Woods R., (2002). *Digital image processing.*
- Mota C., Gomes J., and Cavalcante M. I. A., (2001). Optimal image quantization, perception and the median cut algorithm,” *An. Acad. Bras. Cienc.*, 73(3), 2001.



# Kentsel Planlamanın Yaban Hayatı ile İlişkilendirilmesi ve Değerlendirilmesi

İdris Oğurlu<sup>1</sup>, Leyla Suri<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2677-9513), iogurlu@ticaret.edu.tr

<sup>2\*</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3225-1221), lsuri@ticaret.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Kasım 2021 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1019722)

**ATIF/REFERENCE:** Oğurlu, İ., Suri, L. (2021) Kentsel Planlamanın Yaban Hayatı ile İlişkilendirilmesi ve Değerlendirilmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 906-915.

## Öz

Bu makalenin amacı planlama sistemi içinde yaban hayatı işlev alanlarının yerini tespit etmek ve kentsel mekanda yaban hayatına yer vermenin yollarını araştırmaktır. Makalede; hayatına ve kentsel planlamaya ait temel kavramlar ve kentsel planlamanın temel kavramları ile planlama yaban hayatı ilişkileri ele alınmıştır. Kentsel mekanlarda yaban hayatına yer verebilmenin yolunun kentin yapılı çevresiyle birlikte doğal çevresini de şekillendiren Çevre Düzeni Planı ve bu plana göre detaylandırılan nazım imar planı ve imar uygulama planlarından geçtiği görülmektedir. Kentlerde yaban hayatına yönelik planlamaların öncelikle üst kademedeki planlarda ele alınması, yapılı ve doğal çevrenin, tüm plan kademelerinde bütüncül yaklaşımla planlanması gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yaban Hayatı, Planlama, İmar Uygulamaları, Kentsel Sistemler,

## Associating and Evaluating Urban Planning with Wildlife

### Abstract

The aim of this article is to determine the location of wildlife function areas in the planning system and to search for ways to include wildlife in urban space. In the article; The basic concepts of wildlife and the basic concepts of urban planning and the relationship between planning and wildlife are discussed. Wildlife in urban space is the subject of plans made together with the built environment. The mentioned plans are environmental plan, master plan and land use plans. It is concluded that the plans for wildlife in the cities should be handled primarily in the upper-level plans and the built and natural environment should be planned with a holistic approach at all plan levels.

**Keywords:** Wildlife, Planning, Zoning Applications, Urban Systems,

\* Sorumlu Yazar: [lsuri@ticaret.edu.tr](mailto:lsuri@ticaret.edu.tr)



## 1. Giriş

Kentlerin yol açtığı çevre problemleri sebebiyle, kentin çevresiyle uyum içerisinde olması gerektiği görülmüş ve kentlerin birer ekosistem olarak ele alınabileceği fikri kentsel ekoloji kavramını ortaya çıkarmıştır. Kent ekolojisi, kenti doğanın bir parçası olarak ve doğayı da kentin ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirmektedir (Xiurui, 2005, Marzluff ve ark., 2008, Aydın, 2010). Bilindiği gibi, ekosistem canlı ve cansız unsurlardan meydana gelmekte olup şehirlerin yapıları çevresi ile bunun içinde yer aldığı toprak, iklim, topoğrafya, anakaya, yer altı-yer üstü su kaynakları gibi unsurlar sistemin cansız elemanlarını, şehir ortamında yer alan veya gelişen bitkiler ve hayvanlar ile, doğrudan ya da dolaylı etkisiyle insanlar ise sistemin canlı elemanlarını oluşturmaktadır. Bu çalışmada kent ortamının aynı zamanda yaban hayatına ait hayvan türlerine de yaşama mekanı oluşturabilmesin sağlamak için planlama bazında yapılması gerekenler irdelenmiştir.

Bilindiği üzere, sanayileşme ve kentleşme sebebiyle doğal alanların gitgide azalması sonucu şehir insanında ortaya çıkan doğa ile iç içe olma ihtiyacı günümüzde kent yeşil alanlarında giderilmeye çalışılmaktadır (Özgüner, 2003, Oğurlu, 2014)). Bu sebeple, gün geçtikçe insanların doğaya ve özellikle kentlerdeki doğal yeşil alanlara ve canlılara karşı ilgi ve duyarlılıkları artmaktadır.

Kentsel alanların yeşil örtüden ve çeşitli yaban hayvanlarından yoksun oluşu, kimliği hissedilmeyen bir şehirleşmeye yol açar. (Mol, 2006, Oğurlu, 2014). Oysa, planlanacak basit birtakım uygulamalarla bile şehir parklarını, okulların ve evlerin bahçelerini ve nihayet yeşil alanların tamamını çeşitli yaban hayatı türlerinin ziyaret edeceği veya barınabileceği ortamlar haline getirmek mümkündür. Bunun için yapılacak şey esasen; bu kısıtlı mekanlarda barınması istenen yaban hayvanları için su, barınak ve besin sağlayacak düzeni oluşturmak (Öymen, 2008), daha da önemlisi onlar için yaşama ortamı oluşturan bitki örtüsü ve benzeri yapıları korumak ve devamını sağlamaktır. Aslında çoğu şehirlerimizde kentin mezarlık, park, bahçe gibi yeşil alanlarında serçe, kumru, güvercin, nar bülbülü, iskete, saka vb yabani kuş türleri gözlenebilmektedir (Oğurlu ve ark. 2004). Bu türler için yeşil alan sathında yem değişimini sağlayan çitlembik, dut, yabani gül, asma, böğürtlen gibi ağaç ve çalılarının bulundurulması kent hayatında yaban hayatına tanıklık edebilmek için yeterli olmaktadır (Mol, 2006). Ancak bu uygulamalardan önce temel bir mesele vardır ki o da bu konunun planlama sistemi içerisinde ele alınması ihtiyacıdır. Başka bir anlatımla; üst ölçek planlardan uygulama ölçeğindeki planlara kadar tüm tüm kademelerde; ölçekle uyumlu, kent yaban hayatını korumaya ve geliştirmeye yönelik hedeflerin belirlenmesi gerekmektedir.

Kentlerde yeşil alanların yanı sıra yaban hayatının da teşvik edilmesi gerektiği görüşü birçok modern peyzaj tasarımcısı ve planlayıcısı tarafından benimsenmiştir. Kentsel alanda yaşayan yaban hayvan türleri, gerek koruma gerekse peyzaj amacıyla yararlanma yönleri şehir plancısının, plan analiz aşamasında incelemesi gereken konular arasında olmalıdır. Kentlerde yaban hayatı için uygun yaşam ortamları oluşturma fikri günümüzde kent peyzaj tasarımının ayrılmaz bir parçası olarak kabul görmektedir. Yaban hayatını şehirlerde teşvik etme konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmiş ve çeşitli rehber eserler (Flint 1985, Emery 1986, Özgüner, 2003 ) yayınlanmıştır.

Diğer yandan, kentsel alan çevresel alanlardan, yani kendisini çevreleyen tabiatın tamamen bağımsız olmayıp çevresindeki doğal varlıklardan, su kaynaklarından, bitki ve hayvan türlerinden etkilenir. Bu anlamda bir kentin fauna zenginliğini etkileyen üç temel faktörden bahsedilebilir: Bunlardan birincisi; kenti çevreleyen arazinin doğal zenginliğini oluşturan biyoçeşitlilik ve ekosistem çeşitliliğidir. Kenti kuşatan arazide yaşayan fauna türlerinin kentsel alanda da bulunma ve görülme şansı vardır.

İkinci faktör; kentin çevresindeki doğal alanlarla bağı-bağlantısı-ilişkisidir. Mesela kent içindeki yeşil alanları kentin dışına bağlayan, bağlantı sağlayan yeşil koridorlar varsa kent içi yeşil alanlar bu koridorlar sayesinde tür ve popülasyon olarak doğadan beslenir. Örnek olarak İstanbul'un parklarını Kuzey Ormanları'na bağlayan yeşil koridorların planlanması verilebilir. Metropollerde bu anlamda kaçırılan ancak, gelişmekte olan iller için bugün de değerlendirilebilecek fırsatlar vardır.

Üçüncüsü; kentin büyüklüğüdür. Kent büyüdükçe ve daha geniş bir sahaya yayıldıkça, merkezin (kentin merkezi kısımlarının) doğayla irtibatı azalır/zayıflar ve kentin - bitki ve hayvan türleri gibi- canlılar anlamında kendisini çevreleyen doğadan/kırsal alanlardan yararlanması güçleşir, yararlanma oranı düşer. Buna karşılık kırsal alanlara komşu kentsel alanlarda -yaşamaları için gerekli hayat şartlarını sağlayarak- bu komşu alandan bazı kuş ve memeli yaban hayvanlarının gelmesi beklenilebilir (Mol, 2006). Nihayet; kentsel mekanlarda yaban hayatına yer verebilmenin yolunun kentin yapıları çevresiyle birlikte doğal çevresini de şekillendiren Çevre Düzeni Planı ve bu plana göre yön verilen (detaylandırılan) nazım imar planı ve uygulama imar planlarından geçtiği gözden kaçırılmamalıdır. Bu bakımdan kentlerde yaban hayatına yönelik planlamaların öncelikle üst kademedeki planlarda ele alınması gerekmektedir.

## 2. Gereç ve Yöntem

Kentsel sistemlerde uygulamalar, mevzuat ve planlama kapsamında yapılmaktadır. Dolayısı ile planlama disiplini ve etki alanındaki mevzuat, çalışmanın en önemli materyalleridir. Aynı şekilde uygulama yetkisi bulunan kurumların görev ve yetki alanını belirleyen yasa ve yönetmelikler de çalışma kapsamını oluşturmaktadır. Bir tarafta yaban hayatının yaşam alanlarının içinde olduğu doğal ekosistem, diğer taraftan doğal sistemlere baskı oluşturan kentsel sistemler, kendi içinde analiz edilmiş ve sürdürülebilir gelişme doğrultusunda ortak paydaların araştırıldığı sentez yapılmıştır. Planlama hiyerarşisi bağlamında, bütünleşik yaklaşımla ele alınması gereken doğal ve yapay sistemler, hiyerarşi aşamalarına göre uygulanabilirlik hedeflenerek irdelenmiştir.

### 2.1. Planlama Yaban Hayatı İlişkileri ve Kentsel Planlamanın Temel Kavramları

Kentsel mekanda yaban hayatının yerini belirlemek için önce kentsel planlamanın planlama hiyerarşisindeki yeri, yaban hayatıyla ilgili kentsel planların üst ölçekli planlarla ilişkisi bilinmelidir. Çünkü, kentlerdeki yaban hayatı unsurlarıyla ilgilenmek veya onlar için bir şeyler yapma ihtiyacı duymak aynı zamanda bu konuda bir planlama ihtiyacı duyulmasına da yol açacak ve sonuç itibarıyla bir planlama aşamasına ulaşılacaktır. O aşamada ise yaban hayatı terminolojisiyle şehir planlamanın kavram ve terimleri birlikte telaffuz edileceğinden hem kentsel planlamada hem de yaban hayatında kullanılan temel kavram ve

terimlerin bu konuyla ilgilenen yani şehir hayatında yaban hayatına yer vermeyi düşünen kimseler tarafından bilinmesi gerekmektedir.

Planlama sisteminde, kentsel ve kırsal alanları kapsayan planlar, hiyerarşik düzende ele alınmaktadır.

Planlama hiyerarşisi; ülkesel ölçekten yerel ölçüğe doğru geri besleme ile, kararların bütünlüğünü, devamlılığını ve tutarlılığını sağlamak üzere planlama sisteminin hiyerarşik bir düzen ve süreç içinde kurgulanmasıdır. Süreçte; ana hedef ve politikaların belirlenmesi, hedef için uygun seçeneklerin araştırılması, en uygun olanın seçilmesi, onaylanan plan kararlarının hayata geçirilmesi aşamaları mevcuttur ve bu aşamalar yasa ve yönetmeliklerle tanımlıdır.

İlgili yasalardaki yaklaşımlara göre planlama hiyerarşisi sosyo-ekonomik planlar ve fiziki planlar olmak üzere iki ana başlıkta incelenebilir (Tablo 1) (Suri, 2017).

Tablo 1. Planlama hiyerarşisi

Sosyo Ekonomik Planlar	Fiziki Planlar
• Kalkınma Planı (Ülkesel)	• Çevre Düzeni Planı (1/50 000, 1/100 000)
• Bölge Planı (Bölgesel)	• Nazım İmar Planı (1/5000, 1/25 000)
• Mekansal Stratejik Plan (Ülkesel, bölgesel...)	• Uygulama İmar Planı (1/1000)

Kentsel Peyzaj Planlarının; yasal plan hiyerarşisinde ayrıntılı olarak tanımlanmasa da, Almanya'daki yasal düzenlemede yer verildiği gibi (Güngöroğlu, 2008), fiziki planlar başlığı altında hazırlanarak kent planlarına adapte edilebilecek plan niteliğinde olması gerektiği söylenilebilir.

Ülkemiz yasal sisteminde, sosyo ekonomik planlar içinde bulunan "Kalkınma Planı", planlama hiyerarşisinin en üst kademesini oluşturur. 11. Kalkınma planında da belirtildiği gibi "... doğal kaynakların kullanılmasında nesiller arası hakkaniyet ve sürdürülebilirliğin esas alınması" da hedefleri arasında yer alan çatı planı niteliğindedir. Beş yılda bir yapılması zorunlu planlardır.

Kalkınma planının aksine Bölge planları, hazırlanması zorunlu planlar arasında bulunmamaktadır. Doğal kaynaklar, yaban hayatı ve kentsel sistemler, birbiri ile sürekli iletişim kuran üst sistemin birer parçasıdır. Kentsel sistemlerdeki yaşam kalitesinin niteliği, yaşamsal kaynakların ve yaban hayatının sürdürülebilirliği ile doğrudan bağlantılıdır. Bu nedenle doğal sistem içinde, kaynakların niteliği, değeri (miktarı, kapladığı alan...) ve rejimi (sürdürülebilirliği) kısaca verimliliğinin, öncelikle üst kademe plan kararlarına bağlı olduğu açıktır. Kırsal ve kentsel birçok alanı; bölgesel ölçekte; kaynakların dengeli dağılımını sağlayan, koruyucu önlemleri sistem bütünlüğü içinde değerlendiren paylaşımcı, yaban hayatı için önemli olan yeşil sistemin devamlılığını da kapsayan ekolojik sürdürülebilir plan kararları, ancak üst kademe planlar kapsamında ele alınabilir. Toplumun sosyo ekonomik yapısı, gelişme eğilim ve talepleri ile doğal potansiyellerin, üst kademe ve tek potada değerlendirilebileceği bölge planları, yapılması, zorunlu planlar arasında değildir. Bölge planlarının yapılmaması yaban hayatı için önemli olan yeşil sistemlerin de; öncelikle delinme, devamında kopma ve azalma riskine maruz kalacağı anlamını

taşımaktadır. Benzer şekilde; kent ortamındaki peyzaj strüktürünün bozulmasında çizgisel bariyer etkisi yapan yol ağlarının da (Forman, 1995, Deniz, 2006) bölgesel ölçekte ele alınması ve çözüm üretilebilmesi gerekmektedir. Bölgesel kademe kapsamındaki planlama sürecinde, mevcut türlerle birlikte bulunması gereken doğal sistemler, öncelikli olarak saptanmalıdır. Bölgedeki demografik yapı, sosyal, kültürel ve ekonomik faaliyetleri, beklentileri, eğilimleri ve yoğunlaşma alanları belirlenmelidir. Böylelikle bölgenin yapay ve doğal sistemi arasındaki ilişkinin yaratacağı etkiler, uygulama kademesine gelmeden detaylandırılabilir. Aynı zamanda; yoğun nüfus ve insan faaliyetinden kaynaklanabilecek antropojen etkiler görülmesi halinde sorun, farklı karakterde birçok yerleşmenin olduğu bölgesel kademe stratejik kararlarla çözülebilecektir.

Fiziki planların üst kademesinde çevre düzeni planları bulunmaktadır. Çevre düzeni planlarını nazım imar planı ve uygulama imar planı takip etmektedir. Sonraki bölümde ayrıntıları açıklanacak olan fiziki planlar da yasaların öngördüğü çerçevede hazırlanmaktadır. Parsel ölçüğündeki tüm uygulamalar, 1/1000 ölçekte hazırlanan "uygulama imar planı" doğrultusunda gerçekleştirilmektedir.

## 2.2. Yaban Hayatına Ait Temel Kavramlar

### 2.2.1. Yaban Hayatı

Ekolojik anlamda, yaban hayatı denince bir yerde insan müdahalesi olmaksızın yaşayan bitki ve hayvan topluluklarının meydana getirdiği hayat birliği anlaşılır. Bu birliğin unsurları, bitkiler ve mantarlar ile hayvanlar aleminin böcek, sürüngen - evcil olmayan- bütün kuş ve memeli türleridir.

### 2.2.2. Yaban Hayvanı

Yaban hayatı evcil olmayan ve doğada serbest şekilde yaşayan bütün hayvan türlerini içine alır. Yaban hayvanları denilen bu türler, tabii yaşama ortamlarında genel itibarıyla insan müdahalesi olmaksızın yaşarlar. Böyle olmakla beraber yaban hayvanları ve yaşadıkları ortamlar, yani habitatları insan etkisinden ve müdahalesinden muaf değildir. Mesela, insanların yaptığı tarım, hayvancılık, avcılık gibi faaliyetlerden yol, baraj vs inşaatlarından etkilenirler (Oğurlu, 2016). Yani, yaban hayvanları insanla temas ettikleri her yerde çeşitli tipte ve ölçüde etkilere maruz kalırlar. Yerleşim yerleri genişledikçe ve sıklaştıkça ve keza yerleşim alanlarına yaklaştıkça bu etkinin boyutu artar. Yerleşim yerine girildiğinde ise artık yabancı hayvan için doğadakinin neredeyse tamamen farklı bir ortam söz konusudur. Çünkü orada hükmeden sadece doğa değildir, insan doğayı veya doğal şartları kendine göre değiştirmiştir. Bu şartlar altında yabancı tür ya insanların yoğunlaştığı bu alana sözgelimi kente girmeyecek oradan uzak duracak ya da orada yaşamak zorunda kaldıysa o şartlara ayak uyduracaktır. İnsanın ona yardımcı olma niyeti ve gayreti varsa hayvanın da işi kolaylaşacak ve insanla birlikte kent sakinlerinden biri olmayı kabul edecektir.

Yaban hayatı denince, bugün, Dünyada ve ülkemizde, daha ziyade tabii yaşama ortamlarında yaşayan balık, sürüngen, kuş ve memeli hayvanlar anlaşılmalıdır. Ancak doğanın tamamen tahrip edilmediği ve doğal ortamların kaybolmadığı her yerleşim alanı ve bu arada kent ortamında yaşayabilen yabancı hayvan türlerinin bulunmasından hareketle, doğal ve doğala yakın şartlara sahip ortamlar/alanları planlandığı takdirde kent hayatı ile yaban hayatının birbirine uzak kavramlar olmadıkları görülecektir.

Özellikle çevresindeki bozkır, orman, göl, akarsu gibi doğal alanlarla irtibatı kopmamış kentlerin ve keza denizde kıyısı bulunan şehirlerin bu konuda daha şanslı oldukları ifade edilebilir.

### 2.2.3. Tür Habitat ve Popülasyon Kavramları

Kentsel alanda yaşayan, yani kent ortamında barınan, beslenebilen türlerden bahsedildiğinde bunun üreyip yani neslini devam ettiren bir topluluk yani popülasyon oluşturduğu anlaşılmaktadır. Şu halde belli genişlikteki kentsel alanda üreme yoğunluğu denilen yoğunluğa sahip sayıda hayvan bireyinin bulunması gerekmekte ve yaban hayvanı popülasyonu bu yoğunluğun altına düşmedikçe ve yeterli besin ve barınak bulabildiği sürece varlığını devam ettirebilmektedir. Burada hayvanın beslenebileceği cinsten ve miktarda besinin ve suyun ve yine arasında barınabileceği, yuvalanabileceği bir yapının bulunması gerektiğini de söylemek gerekmektedir. Bunlar yaban hayvanlarının temel ihtiyaçları olarak bilinir ve yaban hayatı literatüründe besin, örtü, su ve mekân adıyla 4 temel unsur olarak ifade edilir (Oğurlu, 2016).

## 2.3. Yaban Hayvanlarının Temel İhtiyaçları ve Habitat

Yaşama ortamı cansız ve canlı elemanlardan meydana gelir. Ortamın cansız elemanlardan iklim ve toprak faktörlerine bağlı olarak gelişen canlı elemanlar olan bitkiler ile toprak içinde yaşayan bakteriden böceğe kadar küçük organizmalar ve yine bitki örtüsü üzerinde veya arasında yaşayan her türden canlılar, yaban hayvanlarının besinini oluşturur. Böylece yaban hayvanlarının temel ihtiyaçlarının gözle görünen kısmını habitat unsurlarının /faktörlerinin oluşturduğunu söylemiş olmaktadır. Popülasyonun devamı için bir yerde besin, örtü ve suyun sadece mevcudiyeti değil dağılımı da belirleyicidir. Yani alan dâhilinde örtü, besin ve suyun bulunması yetmez; bunların aynı zamanda birbirine yeterli yakınlıkta ve hayvanın aynı gün içerisinde ulaşabileceği mesafe dâhilinde yer alması da gerekir (Oğurlu, 2016). Bu, kırsal alanda veya sözgelimi bir ormanlık alanda böyle olduğu gibi kentsel alanda da böyledir. Bu kapsamda kentsel alanda yaban hayatına yer verebilmek için habitat bileşenlerinin ve bu bileşenlerin ulaşılabilir/uygun mesafelerde bulunacak şekilde planlanması gerekmektedir.

İkinci bir husus olarak da kentsel alanda yaşayan ve yaşayabilecek yaban hayatı unsurlarının, yani hayvan türlerinin sayılı türlerden ibaret olduğunu-olabileceğini belirtmek gerekmektedir. Bu sayı en başta kentsel alanın kenti çevreleyen doğal alanlarla ne ölçüde bağlantılı olduğuna daha sonra da kentsel alanda yaban hayatı lehine yapılacak planlama kapsamındaki düzenlemelere bağlıdır. Bu düzenlemeler;

1. Yaban hayatı türlerine uygun mekanları korumak veya yeni mekanlar oluşturmak,
2. Yabani türleri barındıracak mekanlarda yeterli miktar ve dağılımda örtü, besin ve su kaynağı bulundurmak ve bunların sürekliliğini sağlamak. (Mesela oluşturulacak bitki kombinasyonlarında yabani hayvanların yıl boyu besin ve barınak ihtiyaçlarını giderecek türlere yer verilmelidir (Öymen, 2008).
3. Yaban hayatı mekanlarını mümkünse birbiriyle bağlantılı bir ağ ve bir ekosistem şeklinde planlamaktır.

### 2.3.1. Besin

Besin, yaban hayatı habitatlarının en önemli unsuru olarak kabul edilir. Bir yerdeki besinin cinsi, miktarı, yıl içerisindeki

değişimi, orada yaşayacak türlerin sayı ve miktarını belirler. Keza belirli bir türün bir habitatta barınabilmesi üzerinde en etkili ve çoğu zaman da belirleyici faktör, besin ve beslenme olmaktadır. Besin maddelerinin, topraktan başlayarak bitki ve hayvanlar mertebesine geçişi, ile bir "Besin zinciri" oluşur (Oğurlu, 2016). Buna göre kentsel alanın toprağı besinin ana kaynağıdır. Bu toprak üzerinde yetişen bitkiler ve bu bitkilerle beslenen hayvanlar kent içinde kente mahsus bir ekosistemin elemanları olurlar. Bu genişçe bir park veya yeşil alanda böyle olduğu gibi bir evin bahçesinde de böyledir. Mesela bir evin küçük de olsa bir bahçesi varsa bahçe toprağında barınan böcek ve solucanlar, bahçeye dikilmiş ağaç ve diğer bitkilerin tomurcuk, tohum ve meyveleri ve yine bu bitkilerin üzerinde yaşayan salyangozlar, tırtıl, sinek, arı ve kınkanatlı böcekler, kuşların besinini oluşturarak, o alanda çeşitli kuş türlerinin yaşayabilmesini sağlarlar.

### 2.3.2. Örtü

Örtü, yaban hayatını olumsuz hava şartlarından ve yırtıcılardan korurken, aynı zamanda yuvalanma, dinlenme ve beslenmelerini sağlar. Kentsel alanda kuru dallardan oluşturulan kümeler, birkaç kuru ağaç, taş ve küçük kaya kümeleri yabani hayvanlarının barınak örtüsü ihtiyacını karşılayacağı gibi bu ihtiyaç en önemlisi ağaç, çalı, otsu bitkilerden yeşil bir örtü oluşturularak sağlanır. Yeşil örtünün özellikle barınak sağlaması da yaban hayatı için büyük önem taşır (Öymen, 2008; Oğurlu ve ark. 2010.) Kızılgerdan ve sığırcık gibi açık alanları sevenler hariç bahçelerdeki pek çok kuş türü dinlenirken bir ağacın veya çalının korumasını tercih eder. Daimi yeşil gelişmiş bir ağaç, kuşların geceleme için mükemmel bir yer oluşturur. Özellikle böyle ağaçların yapraklı dalları kış mevsiminde buralarda konaklayan kuşları ıslanmaktan ve üşümekten korur. İğne yapraklı ağaçların dalları yağmur ve karın ağacın iç kısımlarına ulaşmasını engellerken dondurucu soğukların etkisini de azaltır. Çit bitkileri ve çalılar da bazı kuş türleri için uygun konaklama yerleridir. Bahçelerde kuşların yuva yapacağı yerlerin yetersiz olması halinde çeşitli tipte yapay yuvalardan yararlanılabilir (Öymen, 2008).

### 2.3.3. Su

Yaban hayvanlarının mutlak fizyolojik ihtiyaçlarından biridir. İçme suyu ihtiyaçları bakımından, türler büyük ölçüde değişiklik gösteriyor olsa da hayvanın yaşadığı çevrede ulaşabileceği mesafede su bulunmalıdır. İçme suyuna bağımlı türlerde, bir popülasyonun sahadaki yoğunluğu, su kaynaklarının dağılımıyla sınırlanır. Suyun bulunduğu noktalarda miktarı ne olursa olsun (su, ne kadar bol da olsa) ancak sınırlı sayıda hayvanın bu alanda barınmasına hizmet edebilir. Aktüel sınırlamayı ise genellikle su kaynağı civarındaki besin miktarı yapar. Bu bakımdan popülasyonun yoğunluğunu arttırmak için su kaynakları ile birlikte besin kaynaklarını da geliştirmek gerekir Çünkü yaban hayvanları su bulamadıkları yerde besine de pek iltifat etmezler. Suyun yetersiz olduğu bir ortama giren az miktardaki suyla birlikte, daha önce kullanılmayan birçok besin maddesi de kullanılabilir hale geleceğinden, az miktardaki su bile ortamda olumlu yönde büyük bir değişikliğe yol açabilir (Oğurlu, 2016).

### 2.3.4. Mekan (Yer)

Habitat bileşenleri olan örtü, besin ve su kaynakları ancak belirli genişlikteki bir alan üzerine yerleşebileceklerinden habitatın diğer bir bileşeninin de yaşama alanına tekabül eden ve farklı türler için değişen genişlikte mekanlar olduğunu



söyleyebiliriz. Her türün ihtiyaç duyduğu mekan genişliği farklıdır. Kent faunasından olan salyangoz, fare gibi türlerin daha kısa mesafeler dahilinde hareket ettiğini, kumrunun onlardan daha geniş bir dairede uçup konduğunu, martının ise çok daha geniş bir daire çizdiğini günlük hayatta gözlenmektedir.

## 2.4. Habitat Unsurlarının Dağılımı

Habitatı vücuda getiren ve habitat unsurları da denilen besin, örtü, suyun sadece varlığı ve miktarları değil habitat içerisindeki dağılımları da habitatın kalitesi ve kullanımı açısından önemli rol oynar. Çünkü hayvan yaşadığı mekânda habitat ihtiyaçlarından her birini, yani besini, örtüyü ve suyu günlük aktivitesi sırasında birbirine yakın mesafelerde bulabilmelidir. Bu bakımdan, habitat unsurlarının alandaki dağılım ve mesafeleri, habitatın yeterliliğini ve kalitesini belirleyen en önemli parametrelerden biri olmaktadır.

## 2.5. Kent Hayatında Yaban Hayatına / Hayvanlarına Yer Vermeyi Gerektiren Sebepler

Şehir planlamada yaban hayvanlarına yer vermeyi gerektiren başlıca sebepler şunlardır:

- Yaşamsal kaynakların sürdürülebilirliği, flora ve faunayı birlikte ele almayı gerektirir.
- Yaban hayatını oluşturan unsurlar kent sakinlerinin kendilerini doğada hissetmelerini sağlar.
- Yaban hayatı unsurları kentte yaşayan doğa severlere yaşama zevkini verir.
- Yaban hayvanları, şehirde yaşayan çocuk ve gençlerin doğa ve doğal varlıkları tanıyıp severek gelişmelerini sağlar.
- Yaban hayatı unsurları; kuşlardan balıklara kadar çevre sağlığının mükemmel göstergeleridir.
- Yaban hayatı unsurları aynı zamanda peyzaj düzenlemede kullanılan peyzaj elemanlarıdır.
- Yaban hayatı unsurları aynı zamanda ülkemizi biyolojik zenginliğinin bir parçasını oluşturmaktadır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Kent hayatında yaban hayatına yer vermenin yol ve yöntemleri sadedinde sözlenecek ilk söz tabiidir ki yaban hayatının planlama hiyerarşisindeki yerini alması gerektiridir. Dah üst ölçekli plandan aşağı inildikçe uygulama detayı artacak ve nihayet kent içinde yabani unsurlara hitap edecek mekanların planlanması ve tasarlanmasına gelinecektir. Elbette bu arada uygulamaya yön veren birtakım prensipler de bulunmaktadır. Mesela, tasarlanacak-düzenlenecek mekânda suni unsurların çoğalması ve doğallıktan uzaklaşma yaban hayatını olumsuz etkiler. Bu sebeple tasarım ve uygulamada doğallık esastır. Özel bakım gerektiren ekzotik bitki türlerini mümkün olduğunca az kullanıp, onun yerine yerli türler tercih edilmelidir. Pestisitlerin kullanımını minimuma indirmek ve biyolojik mücadeleyi ön plana çıkarmak gerekir (Öymen, 2008).

### 3.1. Planlama Kademelerinde Yaban Hayatının Rolü, Envanteri, Analizi ve Değerlendirilmesi

#### 3.1.1. Çevre Düzeni Planında Yaban Hayatının Değerlendirilmesi

Kentsel yerleşime / iskâna yeni açılacak alanlarda yaban hayatının planlanması, yeni kentsel alanlara yönelik yerleşim

planları için benimsenen yaklaşım ve imara açılacak alanlarda yaban hayatına yönelik planlamanın karakteri, alan iskan edildikten sonra kentin yaban hayatı üzerinde en belirleyici faktör olacaktır. İskâna açılan bir arazide mevcut bitki örtüsü ve su kaynaklarından, hedeflenen yaban hayatı unsurları için; kent ortamındaki yeşil sistemin bütünlüğünü sağlayacak ve sistem bileşenleriyle bağlantı kurabilecek nitelikteki kısmının, doğal alan olarak bırakılmasını sağlayacak bir plan yaklaşımı gereklidir. Böylece hem kentin yeşil alan ihtiyacını karşılama hem de yaban hayatına yer ayırma amaçlarına hizmet edilmiş olur. Farklı bir anlatımla; imara açılacak alanların yapı ve nüfus yoğunluğunun niceliği ve işlev alanlarının niteliği, sürdürülmesi hedeflenen yaban hayatının taşıma kapasitesine göre belirlenecektir.

Bir alanın tasarımında genellikle o alanda halihazırda bulunan doğal bitki türlerinin kullanılması estetik ve sürdürülebilirlik açısından daha uygun görülmektedir. Zira, doğal türlerin genellikle bölgenin tabiat şartlarına adapte oldukları ve bir çok hayvan türünü üzerinde barındırdığı ve dolayısıyla sürdürülebilir peyzaj açısından daha uygun olduğu düşünülmektedir (Kennedy and Southwood 1994; Özgüner 2003). Bu durum aynı zamanda bakım onarım maliyeti açısından da ilgili idareye ekonomik katkı sağlayacaktır.

Bilindiği gibi, yerleşme alanları, doğal alanlara doğru farklı şekillerde; merkez etrafında yağ lekeleri gibi, doğal ya da yapay akslar boyunca lineer, topografyanın elverdiği ölçüde ya da merkezden koparak atlama yapan ufak nüveler oluşturup saçaklanarak genişlemektedir. Yaban hayatının; yerleşme çeperlerindeki doğal çevreden, merkeze kadar devamlılığının sağlanması, öncelikle; kırsal ve kentsel alanın bir arada değerlendirildiği çevre düzeni planı kararları ile güvenceye alınmalıdır. Birden fazla kırsal ve kentsel yerleşme deseninin birlikte değerlendirilmesi; yaban hayatının, birbirini tamamlayan tür çeşitliliğinin sağlanabilmesi için de zorunlu görünmektedir. Bu nedenle; yaban hayatının detaylarıyla, kapsamında olduğu peyzaj planlama hiyerarşik planlama sistemi paralelinde; öncelikle kent kademesinin üzerindeki kapsamda ele alınarak çevre düzeni planına adapte edilecektir ki belirtilen kademe ölçekler, 1/50000-1/100000 aralığında bulunmaktadır. ÇDP plan paftalarında; yaban hayatı yaşam alanlarının, genel sınırlarına ilişkin stratejik kararlar, kent kır arasındaki sürekliliği, alt kademelere veri sağlayacak türlerin genel açıklamaları, yerleşmeler bütününde fiziksel peyzaj strüktürü, plan raporunda ilkesel peyzaj kararları yer almaktadır. ÇDP; alt kademesinde bulunan nazım imar planlarına; plan paftası, lejanti, plan notları ve plan raporunda, habitat düzeyindeki genel kararlara ilişkin yönlendirme yapabilecek, net, anlaşılır veri sunabilmelidir. Nazım planlarda; ÇDP'nın genel ve ilkesel kararları, imar adası detayına girmeden yer almaktadır. Alt bölgeler çerçevesinde, flora ve faunaya ilişkin açıklamalar, popülasyon yoğunluğu vb. detaylar plan paftası-plan notları ve plan raporunda bulunabilir. Yaban hayatının sürdürülmesinde de önemli bir kademe olan ÇDP'nın, güncel mevzuatta yapılması zorunlu planlar kapsamında olması gerekmektedir. Nazım imar planında, yaban hayatına olanak sağlayan yaşama alanlarının sürekliliği, kentsel ölçekte izlenebilir., Bu aşamada kentsel peyzaj planı, hiyerarşik sistem paralelinde, 1/25000 ya da 1/5000 nazım plan ölçekleri ile detaylandırılarak nazım plan bütünlüğü içinde plana dahil olacak ve gene aynı şekilde alt kademe planları yönlendirecektir. Yukarıda da belirtildiği gibi, nazım planlarda imar adası ve küçük komşuluk grupları görünmemektedir. Adı geçen birimler, uygulamaya da esas olan uygulama imar planlarında yer almaktadır. Uygulama İmar Planlarında, tüm imar istikametleri,



nihai konumu ile görünür. Belirtilen bu istikametler, uygulamada alana aplikasyonu yapılacak kesin sınırlardır. Aynı zamanda, istikametler arasında kalan alanların işlevi de üst kademe plan kararı doğrultusunda detaylandırılır. Yaban hayatının sürekliliğine olanak sağlayan işlev alanlarının son halkası; küçük komşuluk, grupları arasındaki konumu ile yapay çevrenin en alt kademesine kadar devam eder. Küçük komşuluk grupları arasından da kılcal bağlantılarla, sirkülasyonunu devam ettirir. Uygulama imar planı; işlev alanlarının kesin sınırı, kullanım yoğunluğu, tür çeşitleri, bakım ve onarımından sorumlu kurumlar vb. tüm ayrıntıların görülebileceği detayları içermektedir. Plan kararları; plan paftasında çizimle, lejantta çizgi ve sembollerin açıklaması ile, plan notlarında paftada açıklanamayan uygulamaya ilişkin özet anlatımla ve raporda tüm plan kararlarının ölçek doğrultusunda geliştirilen kararları ile ifadelendirilebilir. Buraya kadar anlatılan, yeni yerleşime açılacak yerlerdeki yaban hayatının planlaması aşağıdaki gibi özetlenebilir; Her kademedeki plan; hazırlık aşamasında yapılan geniş kapsamlı analizlere göre ilerlemektedir. Doğal yapı özellikleri, hem bölgenin doğal potansiyelinin korunarak geliştirilmesi hem de insan sağlığı açısından, son derece önemlidir ve bu amaçla; analizlerde detaylı envanter çalışması yapılır. Dolayısı ile bölgesel ölçekte bölge planı ve ÇDP ölçeğinde; bölgedeki mevcut flora ve fauna, nitelik ve niceliği ile birlikte, biyotop haritaları yapılarak analiz edilir. Mevcut ve önerilen yaban hayatının sürdürülebilirliğini sağlayacak flora; alan büyüklüğü, yer seçimi ve niteliği, bu kademede belirlenir. ÇDP kademesinde; yaban hayatının sürdürülebilirliğini sağlayan işlev alanları, ilkesel kararlarla ifade edilebilir. ÇDP fiziki planlardaki işlev alanları sınırları, alt kademe planlara ilkesel kararlar ile birlikte yol gösterir. Bölgesel ya da birkaç ili, kırsal ve kentsel yerleşmeyi kapsayabilecek ölçekteki ÇDP, kent ile kırsal alan ilişkisini kuran, başka bir ifadeyle yeşil sistemin devamlılığını sağlayan, genel ilkelere göre nicelik ve niteliğini belirleyen bütüncül plan yaklaşımı ile alt kademeye veri sağlayan plan niteliğindedir.

Mevcut kaynakların bölgeye sağlayacağı yarar ve yapay çevrenin kaynaklar üzerindeki baskısı, hinterlant ilişkileri ile üst ölçekte ele alınır, yerleşmelere atanacak yeni yoğunluk ve kimlik değerlerine göre ÇDP hazırlanır. Genel ilkeler ve kullanımlar ÇDP’nda belirlenerek alt kademe planlarına kaynak oluşturur. ÇDP, kırsal-kentsel birçok yerleşme arasındaki bağlantıların izlenebileceği bir kademededir. Nazım plan kapsamı ise kent bütünü ya da kentin herhangi bir alt bölgesidir. Başka bir anlatım ile verilerin, üst kademe ÇDP’den alınarak detaylandırıldığı ara kademededir. Bölge planları ve ÇDP, birden fazla idari birimin bulunduğu kırsal ve kentsel alanı kapsayabilir. Ancak nazım plan, genellikle tek bir idari sınır kapsamında yapılmaktadır. Dolayısı ile ÇDP’da devamlılık arzeden yeşil işlev alanları, nazım planda sadece ilgili idari sınır (ilçe, alt bölge..) kapsamında uygulama görebilir. Bu nedenle, yaban hayatı yaşam alanlarını oluşturan yeşil sistemin, kent bütünü ve kırsal alanla bağlantısını sağlayan kademelerin, çevre düzeni planı olduğu ifade edilebilir. Genel yaşam alanları ve sistemin sürekliliğinin tasarım kararlarını içeren ÇDP’nın, alt kademelerinde, flora ve faunanın uygulama kademesindeki detaylandırmalar yer alacaktır.

En alt basamaktaki uygulama planı, işlev alanlarının dolayısıyla yaban hayatı alanlarının fiziksel anlamda araziye aplikasyonuna esas oluşturan istikametleri kapsamaktadır, 1/1000 ölçekte, kentsel tasarıma-peyzaj uygulama projesine ışık tutacak ayrıntıları da içermektedir.

### 3.1.2. Nazım İmar Planlarında Yaban Hayatının Değerlendirilmesi

Önceden iskan edilmiş kentsel alanlarda yaban hayatının planlanması aşamasında kentsel alanda mevcut ve potansiyel yaban hayatı unsurlarının ve ihtiyaçlarının belirlenmesi ve kentte mevcut yaban hayvanlarının ve durumlarının tespiti çalışmaları yer alacaktır.

Şehirde ve kentsel alanlarda yaşamakta olan türlerin tespiti yapılacak ilk iştir. Bu çerçevede yapılacak işlerin başında; mevcut türlerin kent içindeki yerleri, yani bunların görüldüğü, barındığı, ürediği yerlerin ve bunların kent alanındaki dağılımlarının belirlenmesi gelir (Oğurlu, 2003). Bu arada, mevcut türlerin güncel ve potansiyel ihtiyaçlarının ve varsa yaşadıkları problemlerin de tespiti gerekir ki belirtilen tesbitler başta çevre düzeni planı olmak üzere, nazım imar planı ve uygulama imar planı ön hazırlığında ve revizyonunda, doğal yapı başlığında yer alması gereken önemli analizler arasındadır. Yerleşik alanlarda kentsel peyzaj planlamaya ilişkin revizyon ve rehabilitasyon; öncelikle, bir taraftan üst ölçek ÇDP’nın alt ölçek nazım plana aktaracağı verilerin incelenmesini, diğer taraftan nazım plan ölçeğinde, yaban hayatı yaşam alanlarının, plana aykırı gelişmiş kısımlarının tesbitini gerektirmektedir. İlgili uzmanlık alanları ile planlamaya multidisipliner yaklaşım, plan uygulamalarındaki verimliliği de arttıracaktır. İskan edilmiş alanlarda, “mevcut ve potansiyel yaban hayatı unsurlarının ve ihtiyaçlarının belirlenmesi”, nazım plan kademesinde ele alınacaktır. Mevcut ve potansiyel yaban hayatı yaşam alanlarının meri nazım planda ve uygulama imar planında bulunmaması halinde; kaynak alanları plan kararları olarak, nazım ve uygulama imar planlarına eklenebilmelidir. Belirtilen plan kararları; yerleşme alanı ya da mahalle alt bölgesinin tamamına hitap eden kullanım alanı ise nazım imar planına, komşuluk grupları detayında ise imar uygulama planlarına işlenecektir.

### 3.1.3. Uygulama İmar Planlarında Yaban Hayatının Değerlendirilmesi

Yeni getirilebilecek türlerin tespiti aşamasında, şehirde mevcut olmayan, fakat şehirde yaşamalarına uygun yerler bulunan veya kendileri için uygun şartlar/ortamlar oluşturulabilecek türlerin bulunup bulunmadığı tespit edilir. Potansiyel bu türlerin biyolojileri ve ekolojik istekleri bakımından iyi etüt edilmesi gerekmektedir.

### 3.1.4. Kentsel Tasarım Sürecinde Yaban Hayatının Değerlendirilmesi

Mevcut ve potansiyel türlerin biyolojileri ve ekolojik isteklerinin belirlenmesi sürecinde, kent ortamında görmek istediğimiz türlerin varlığı her şeyden önce onların biyolojileri ve ekolojik ihtiyaçlarının bilinmesi gerekir. Bunların yaşamayı sürdürmesi de bu ihtiyaçların plan süresi boyunca gözetilmesi, plan uygulamalarında buna uygun hareket edilmesi ve planlanan çalışmaların hayata geçirilmesiyle sağlanır.

## 3.2. Kent Hayatında Yaban Hayatına Yönelik Farkındalık Aktiviteleri

Büyük şehirlerdeki dönüşüm; toprak yüzeyinin ve yeşil kitlenin azalması yönünde cereyan etmektedir. İlk yapılacak iş bu gidişin durdurulması, yeşil kitleyi oluşturan ağaç-çalı ve her türlü bitkiyle oluşan bitki örtüsünün ve bunun besleyen toprak zeminin korunmasıdır. Yaban hayatına da ortam oluşturan yeşil dokunun sürdürülebilirliği, kentsel ve kırsal alana bütüncül yaklaşım

getiren uluslararası çalışmalarda da ifade edilmektedir (Tuna. 2021). Bu hedefe yönelik olarak fiziki planlarda planlama hiyerarşisi içerisinde Çevre Düzeni planından, kentsel peyzaj planlarına kadar alt/ara hedefler sözkonusu olup bu hedefler istikametinde yapılması gereken çalışmalar bulunmaktadır. Aşağıda sırayla bu çalışmalar anlatılmaktadır: Planlamanın tüm kademeleri, ekolojik temele dayandırılmalıdır. Bununla birlikte, peyzaj planlamanın öncelikli; “environmental planning” kavramı ile denk düşen ve aynı zamanda, fiziki planlama hiyerarşisinin üst kademesinde bulunan ÇDP ile paralel ele alınması gereken niteliğe de sahip olduğu söylenilebilir. Bu aşamada detaylı doğal yapı analizleri; mevcut ve geliştirilebilir flora/faunanın sürdürülebilirliğini sağlayan ölçütler hakkında sentez yapılabilecek veri tabanını oluşturacaktır. Diğer bir ifadeyle burada peyzaj planlama fiziki sınıflama kademesinde “çevre düzeni planı” ölçeği kapsamında da yer almaktadır. Daha ayrıntılı açıklamak gerekirse; yasal sistemdeki fiziki plan hiyerarşisinde; ÇDP, Nazım İmar Planı, Uygulama İmar Planı şeklinde yer alan planlar; ulaşım, peyzaj altyapı, vb. başlıklarında yapılan tüm planların bir araya getirildiği yasal dokümanlardır. Bu nedenle, her kademe fiziki plan; yukarıda alt başlıklarda ifade edilen planların da kademesine işaret etmektedir. Dolayısı ile; yaban hayatı alanları; kentsel ve kırsal birkaç yerleşmeyi kapsayan üst kademe ÇDP, yerleşme tamamını kapsayan (genellikle ilçe idari sınır) kademe nazım imar planları, imar adası detaylarının görüldüğü kademe, uygulama imar planı kapsamında ele alınacaktır. Ayrıca, plan onamasını takip eden süreçte hazırlanacak kentsel tasarım projelerinde; en alt kademe detaylandırılan peyzaj planları verilerini kapsayacak şekilde, flora fauna mikro ölçekteki yaşam alanları, büyüklükleri konusunda, plan ölçeğinden daha ayrıntılı detaylar görülebilecektir. Planlama hiyerarşisi içerisinde tüm kademelerin, peyzaj ekolojisini referans aldığı bir yapı halinde olması gerekir. Gerekli biyotop, peyzaj onarımı ve koruma kararlarını barındıracak nitelikte olmalı. Bu kararlar da sadece yeşil alanlara yönelik değil, yapılı çevre ile de birlikte düşünülmelir (peyzaj fonksiyonu: su yönetimi, iklim düzenleme vb.). Ülkemizdeki planlama çalışmalarında, ekolojik temelin esas alınması gerektiği burada bir kez daha vurgulanmalıdır.

### 3.2.1. Çevre Düzeni Planı ile Bağlantılı Çalışmalar

Çevre düzeni planı (Ç.D.P.) kırsal-kentsel alanlarda, birden fazla yerleşmeyi kapsayacak ölçeklerde hazırlanmakta, sosyo ekonomik planlardan fiziki planlara geçiş aşamasında, stratejik planlardan veri almaktadır. “Orman, akarsu, göl ve tarım arazileri gibi temel coğrafi verilerin gösterildiği, kentsel ve kırsal yerleşim, gelişme alanları, sanayi, tarım, turizm, ulaşım, enerji gibi sektörlerle ilişkin genel arazi kullanım kararlarını belirleyen, yerleşme ve sektörler arasında ilişkiler ile koruma-kullanma dengesini sağlayan 1/50.000 veya 1/100.000 ölçekteki haritalar üzerinde ölçeğine uygun gösterim kullanarak bölge, havza veya il düzeyinde hazırlanabilen, plan notları ve raporuyla bir bütün olarak yapılan planlardır” (R. G. 2014) Çevre düzeni planı kapsamındaki yerleşmelerin doğal yapı analizleri, bu aşamada son derece önem arz etmektedir. Şöyle ki;

- Kentsel-kırsal nüfus büyüklüğü ve nüfus yoğunluğu, plandaki fonksiyon alanlarının büyüklüğü ve yer seçiminde en önemli unsurdur.

- Nüfus büyüklüğü ve yoğunluğunun belirlenmesinde; bölgedeki gelişmeler ve eğilimler etkin rol oynamaktadır. Çevre düzeni kademesindeki analizlerin, nüfus yoğunluğunun belirlenmesindeki en önemli etkisi; plan alanının doğal

varlıklarının sürdürülebilirliğini sağlayan doğal ve kültürel eşik değerleri olmalıdır.

- Farklı bir anlatımla; doğal eşiklere ilişkin ölçütler, bölgeye gelecek nüfus ve fonksiyon alanlarının, niceliği ve niteliğini belirleyen kırmızı çizgileri oluşturmalıdır.

- Sözü edilen ölçütler doğrultusunda; çalışmanın başlığını oluşturan “Kent Hayatında Yaban Hayatına Yer Vermek” konusuna, “yaban hayatının sürdürülebilirliği (ya da kentin taşıma kapasitesi) bağlamında yerleşme makroformu ve nüfusunu belirlemek” yaklaşımı ile bakmak, çalışma amacının daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

Özetle belirtmek gerekirse; mevcut ve öneri yaban hayatının korunmasında ve sürdürülmesinde çevre düzeni planının en önemli rolünün; taşıma kapasitesi ya da eşik değerlerin tesbiti ile, yerleşme alanlarının makroformunu, nüfus büyüklüğünü, başlıca işlevleri, nüfus ve işlev alanları yoğunluk ve yer seçimini belirlemesi olduğu söylenilebilir. Bu yapıldığı takdirde bütüncül bakış yaklaşımı ile; doğal ve yeşil alanların kentten kırsal alanlara doğru devamlılığı sağlanmış ve alan kaybı önlenmiş olacak, böylece yaban hayatı da dahil olmak üzere doğal varlıklara ve canlı türlerine yaşama mekanları bırakılmış olacaktır.

### 3.2.2. Nazım İmar Planı ile Bağlantılı Çalışmalar

Yerleşmenin idari sınır kapsamında işlev alanlarının devamlılığı, kademesi nazım imar planlarında görülebilmektedir. Dolayısı ile ÇDP’den gelen yönlendirme ile yaban hayatının idari sınır (genellikle ilçe kademesinde) bütününde yaşayacağı bölgeler, koridorlar, atlama mekanları, bu kademe topluca görülmektedir. Nazım imar planı ilgili yönetmelikte “Mevcut ise çevre düzeni planının genel ilke, hedef ve kararlarına uygun olarak, arazi parçalarının genel kullanım biçimlerini, başlıca bölge tiplerini, bölgelerin gelecekteki nüfus yoğunluklarını, çeşitlik kentsel ve kırsal yerleşme alanlarının gelişme yön ve büyüklükleri ile ilkelerini, ve uygulama imar planlarının hazırlanmasına esas olmak üzere, arsa kadastral durumu işlenmiş olarak 1/5.000 ile 1/25.000 arasındaki her ölçekte, plan notları ve ayrıntılı raporuyla bir bütün olarak hazırlanan plandır” şeklinde tanımlanmaktadır (R. G. 2014).

Nazım imar planlarının, yapılması zorunludur ancak tanımdan anlaşılabilirdiği gibi; çevre düzeni planlarının yapılması zorunlu görülmemektedir. Nazım imar planlarının, hazırlama-onaylama-uygulama yetkisi, sadece kendi idari sınırları içinde sorumluluğu olan yerel yönetime (belediye) verilmiştir. Bu nedenle ilgili yerel idarelerin, üst ölçekli plan olmaksızın sadece yetki sınırları dahilinde yapılan nazım imar planlarının, yaban hayatı açısından, parçacıl nitelik taşıdığı söylenilebilir. Belirtilen durum, bütüncül yaklaşımdan uzaktır ve yaban hayatının sürdürülebilirliği açısından risk taşıyan uygulamaların önemli sebepleri arasındadır.

Daha önce de değinildiği gibi, çevre düzeni planı birden fazla yerleşmeyi içine alan, doğal ve kültürel varlıkların yapay çevre ile etkileşimini tek potada değerlendiren, taşıma kapasitesine göre yerleşmelerin yön ve büyüklüğünü, makroformunu, işlevini, yoğunluğunu, vizyon ve misyonunu belirleyici rolü olan, alt ölçek planlara bu yönde veri sağlayan, üst yönetimin kontrolünde olması gereken bir kademedir (Suri 2020).

Çevre düzeni planı bulunan alanlarda yapılan nazım imar planları ile; çevre düzeni planında genel işlev ve sınırları belirli alanlar, yukarıda belirtilen ölçek aralıklarında detaylandırılmaktadır. Nazım imar planlarında, mahalle alt

bölgesinin tamamına hizmet veren; yeşil alanlar, birinci ve ikinci kademe ulaşım arterleri, adalar (ada ayrıntıları 1/1000 ölçekli imar uygulama planında görünür) topluluğu, nüfus yoğunluğu ve başlıca işlevler görünmektedir. Bu plan hazırlanırken yaban hayvanlarının habitat haritaları ve baskı unsurlarının dağılım haritası dikkate alınmalıdır. Nazım plan, yaban hayatına yaşam alanı sunan yeşil devamlılığını 1/1000 ölçekli planlara veri sağlayacak şekilde genel hatları ile ele alınmalıdır.

### 3.2.3. İmar Uygulama Planı ile Bağlantılı Çalışmalar

Uygulama imar planları, planlama kademesinde yapılması zorunlu planlar arasındadır. "Nazım imar planı ilke ve esaslarına uygun olarak yörenin koşulları ve planlama alanının genel özellikleri, çevreye etkisi dikkate alınarak; yapılaşmaya ilişkin yapı adaları, kullanımları, parkları, meydanları, gibi yapılaşma ve uygulamaya ilişkin kararları, gösteren 1/1.000 ölçekli plandır (R. G. 2014) Uygulama imar planları, plan kararlarının mekânsal boyutu ile araziye apliedildiği kademededir. Nazım imar planında genel sınırları belirli yaban hayatı yaşam alanlarının uygulama ölçeğinde detaylandırılarak gösterildiği planlardır.

Ada bazında, nazım imar planında ölçeği gereği gösterilemeyen ayrıntılar da uygulama imar planında gösterilebilir ancak, yaban hayatı için süreklilik arzemesi gereken fonksiyon alanlarının öncelikle nazım imar planı ve çevre düzeni planları kapsamında ele alınması gerekliliği bulunmaktadır.

Üst ölçekli planlarda bulunmayan ve sürekliliğinin sağlanması yaban hayatı için önemli olan yaşam alanlarının, kamuya ait mülkiyetin yetersiz olduğu uygulama imar planı kapsamında yer alması ve uygulanabilmesinde mülkiyet hakları nedeni ile güçlükler yaşanması olasılığı yüksektir. Uygulama imar planında yaban hayatına yönelik ana hedef esasen; mevcut su kaynakları ve keza doğal bitki örtüsünün mevcut bulunduğu yerlerden belirli bir kısmı yapılaşma dışında tutmak veya tamamen yaban hayatını koruma odaklı planlamaktır. Keza, şehrin yeşil alan miktarını mümkün olduğunca yüksek tutmak da bu aşamadaki temel hedeflerden biridir. Belirtilen durum, uygulama imar planında ada bazında yapılaşma sınırlarının kısmen ya da tamamen tanımlanması, plan notları ile de detaylı ifadelendirilmesi ile mümkün olabilir. Özellikle yerleşik alanlarda yaban hayatı yaşam alanlarının günden güne azalması nedeniyle, sürekliliği, yatayda ve düşeyde sağlayabilecek; yumuşak zemin, bina çekme mesafeleri, bina-yol, bina-bina ilişkisi, cephe ve çatıda yaban hayatının sürekliliğini sağlayabilecek uygulamaların açıklamaları, plan notlarında bulunmalıdır.

### 3.2.4. Kentsel Peyzaj Planlama ile Bağlantılı Çalışmalar

Şehrin peyzaj planında konumuzla ilgili temel hedef her türlü peyzaj uygulamasında peyzaj amaçları yaban hayatı ve doğal alanların birlikte ele alınması olmalıdır.

Yaban hayatının korunması en başta, doğrudan doğal alanların korunmasına bağlıdır. Bu sebeple, kentsel yaban hayatıyla ilgili planlama büyük ölçüde kentin ve kentle bağlantılı yerlerde mevcut doğal alanların ve yeşil alanların planlanmasına ve bütüncül yaklaşıma (Aksu, 2021) dayanacaktır. Belirtilen tanımlama, bölge planları stratejik kararları ya da çevre düzeni planı kademesine karşılık gelmektedir.

Bu noktada kent peyzajını planlamada doğal stilin yeri ve önemine değinmek faydalı olacaktır. Zira, kentlerde yaban

hayatının teşvik edilmesi ve ekolojik prensipler çerçevesinde doğal alanların artırılmasını öngören doğal stil peyzaj tasarımı ve uygulamaları özellikle Avrupa ve Amerika'da popüler hale gelmiştir (Kendle ve Forbes 1997; Özgüner, 2003)

Varsa kent içindeki doğal bitki örtüsünün korunması ile hem estetik değeri olan hem de yaban hayatını destekleyen yapılar kazanılmış olur (Dunnet 1995, Tregay 1986). Keza, peyzaj planlama araçlarını kullanmak suretiyle vejetasyona yönelik tasarım ve uygulamalar yapmak mümkündür. Bu yolla kent faunasını destekleyen dinamik bir sistem oluşturulabilir. Özellikle doğal stil peyzaj tasarım ve uygulamaları, klasik stile göre kentlerde daha çok çeşitlilik ve yaban hayatı için daha elverişli imkanlar sunmakta olup şehir yaban hayatı ve buna bağlı olarak çevre-doğa koruma hedefleri açısından daha uygun olduğu bildirilmektedir (Yates ve Ruff 1991, Özgüner, 2003). Peyzaj planında uygulama hedefleri: Bitki çeşitliliğini yüksek tutmak ve kabaca 1000 m<sup>2</sup>'den daha büyük monokültür (aynı türden oluşan bitki örtüsü) oluşturmaktan kaçınmak; doğal çalılıklar, taş yığınları, su kaynaklarının çevresi gibi farklı canlı türleri için habitat değeri taşıyan alanları korumak ve teşvik etmektir.

### 3.2.5. Planlamada Beşeri Faktörler ve Katılımcılık

Kent ortamında yaban hayatının canlanması, tanıtılması ve korumaya yönelik eylem planlarının geliştirilmesi için insan kaynaklarının harekete geçirilmesine yönelik bir planlama da yapılmalıdır. Bu konuda mevcut ve harekete geçirilebilecek potansiyel ile yeni potansiyelin oluşturulması için gereken aksiyon ve aktivitelere yönelik stratejilerin belirlenmesi lazımdır.

## 3.3. Kent Hayatında Yaban Hayatı Uygulama ve Aktiviteleri

Kentsel alanlarda yaban hayatına dikkat çekmek ve farkındalık oluşturma en kestirme ve etkili yolu başta kuş gözlemciliği olmak üzere bitki ve kelebek gözlemleri gibi yaban hayatı gözlem aktiviteleridir. Bu aktivitelere katılarak kent yaban hayatı ile tanışan kimseler bir süre sonra, kent flora ve faunasının korunmasına yönelik eylem planlarında görev alarak etkin roller oynayacaklardır. Gözlem ve koruma çalışmaları aynı zamanda kentiçi flora ve fauna hakkında planlama çalışmaları için işe yarar veriler sağlayacaklardır. Yaban hayatı farkındalığının artmasına paralel olarak kentsel mekanlarda koruma ihtiyacı olan alanlar ve öncelikleri ortaya çıkacak bu da yine kentsel planlama çalışmalarına ışık tutacaktır. Kent içi mekanlarda olduğu gibi hemen kent çevresindeki doğal alanlarda ise doğa yürüyüşleri düzenlenebilir. Yapılacak doğa yürüyüşleri ve bu yürüyüşler sırasında yapılan doğa gözlemleri kentiçi aktiviteleri besleyecek ve kent faunasını koruma çalışmalarına yeni yeni elemanlar kazandıracaktır. Belirtilen aktivite alanları, en alt kademedeki komşuluk gruplarının parklarından alt kademedeki başlayarak, üst kademe- kent dışındaki alanlara kadar planlanabilir. En alt kademedeki parklarda yaban hayatına yaşam alanı sunabilecek, birkaç ağaç, çalı topluluğu vb. mekanlar sunulabilir. Bu mekanlar, uzman görüşüne göre, bitki türlerinin ve alansal büyüklüklerinin tanımlanması imar uygulama planı plan notlarında yer alabilir. Uygulama imar planı onaylanmasından sonraki uygulama ilgili idare denetiminde yapılacak, peyzaj plan çalışmalarını da kapsayan kentsel tasarım, ya da peyzaj düzenleme projesi ile yapılabilecektir.

Özetlemek gerekirse; kentin çevresiyle kurduğu ilişki, kent bütününden gelen yeşil sistemin, kent dışındaki kırsal alanlara bağlantısı ÇDP konusudur. Çevre düzeni planında kurulan yeşil strüktür, bir alt kademesindeki nazım planlara yol gösterecektir.



Nazım planının, ÇDP'ndan aldığı plan kararları, semt ya da mahalle ölçeğinde ifadelendirilecektir. Uygulama planı ise nazım plandaki yeşil sistem plan kararlarının, uygulanabilir nitelikte ayrıntılarını içeren en alt kademedir. Uygulama planı kararları, gereğinde kentsel tasarım ve peyzaj projeleri ile desteklenerek alanda hayata geçirilebilir.

Mekansal planların kademesi ve yaban hayatı niteliğine göre, planlarda detaylandırma yapılır. Gözden kaçmaması gereken konu, yaban hayatının kent ekosisteminde sürdürülebilirliğinin, plan kademeleri arasındaki bilgi akışının da hiyerarşik sistem bağlamında olması gerekliliğidir. Yaban hayatına ilişkin mekanda yapılan gözlemler, kademedeki en temel bilgi olarak planlama sistemine aktarılacak ve üst kademe planlara da kademesi bağlamında yansıtacaktır.

### 3.3.1. Park ve Yeşil Alanlarda Gözlemler

Çevre düzeni ve nazım imar planında genel sınırlar belirlenir, uygulama imar planında park ve yeşil alanlardaki alt işlevler kesin sınırları ile tanımlanarak planlanır, kentsel tasarım ve peyzaj projesinde gözlem alanları detaylandırılır.

### 3.3.2. Yakın Çevre ve Doğa Gözlemleri

Kırsal niteliği çağrıştıran doğa gözlemlerine ilişkin alanlar, daha çok çevre düzeni planı kapsamında planlanarak sınırları belirli bölgelerin farklı ölçeklerde peyzaj planları ile detaylandırılacağı, plan notlarına bağlanabilir.

### 3.3.3. Kuş Gözlemciliği

Yukarıdaki açıklamalar, kuş gözlemciliği için de geçerlidir. Kuş gözlemine konu olan geniş tabiat parçaları çevre düzeni planı kapsamına girmektedir. Kent içi kuş gözlem alanları ise ayrıca nazım plan ve peyzaj planında gösterilebilir. Mekânsal planlamada bitki ve kelebek gözlem alanları için de kuş gözlem alanları gibi düşünülebilir.

### 3.3.4. Yaban Hayatının Tanıtımı ve Aktivite Planlama

Yukarıda bahsedildiği gibi gözlem, yürüyüş gibi planlanacak her türlü aktivite kent için yaban hayatı unsurlarının tanıtımına hizmet edecektir. Bu aktivitelerin mekanı ise kentsel planlamada birden fazla yerleşmeyi kapsayan alanlarda ÇDP, yerleşme bütününde nazım imar planı ile işaret edilen alanlar olacaktır.

### 3.3.5. Yaban Hayatına Uygun Alan ve Mekânların Oluşturulması

Kent içinde yaban hayatına uygun alanların veya mekânların oluşturulması tüm kademe fiziki planlardan itibaren ele alınacak bir konudur. Yeşil alanların yaban hayatını destekleyen alanlar olduğu kabulüyle hareket edersek, yaban hayatına elverecek alanların sınırları ÇDP ve nazım planda, detaylar da uygulama planı ve peyzaj projelerinde belirtilmiş olacaktır.

## 4. Sonuç

Kentsel alanların sürekli büyümesi ve yapılaşma eğilimi göstermesi kent içi ve dışı yeşil alanların azalmasına veya daralmasına yol açmaktadır. Yaban hayatı için yaşam mekanı (Barınma, beslenme vb )olarak kullandıkları doğal alanlar veya yeşil alanların korunması ve yaşatılması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle Kent planlarının da kent içi ve çevresindeki mevcut doğal alanlar ve yeşil alanların korunması, yeni alanların oluşturulması ve bu alanların kendi arasında mutlaka yeşil koridorlarla birbirlerine bağlanması, yaban

hayatının korunması ve devamlılığın sağlanmasını mümkün hale getirebilecektir. Büyük şehirlerde dönüşüm, toprak yüzeyinin ve yeşil dokunun azalması yönünde oluşmaktadır. Bu nedenle yeşil dokuyu oluşturan ağaç-çalı ve her türlü bitki örtüsü ve bunu besleyen toprak zeminin korunması, planlamanın esas hedefidir.. Bu hedef doğrultusunda farklı ölçekte planlar için ara hedefler belirlemek ve buna yönelik uygulamalar gerçekleştirmek mümkündür. Planlar doğal yaşam alanlarının sürdürülebilirliğini sağlama amacına yönelik olarak hazırlanan araçlardır. Planların amaçlarına ulaşabilmesi ise, hiyerarşik düzende kurgulanması ve uygulanmasını gerektirir. Bu nedenle yasal ve yönetsel sistemin sürdürülebilirlik çerçevesindeki uygulamaları desteklemesi gerekmektedir. İnsan eliyle oluşan yapay sistemin doğal sistem üzerindeki baskısının boyutları ancak üst kademe planlarda anlaşılabilir. Bu nedenle ÇDP'nın yasal sistemde zorunlu planlar kapsamına alınması ve tüm kademe planlarda ekolojik temele dayalı ilkelerin belirlenmesinde yarar vardır. Planların uygulanabilir nitelikte yapılması, uygulama akışının farklı yasal düzenlemelerle kesintiye uğramaması, uygulama denetiminin aksatılmadan yürütülmesi yaban hayatının planlarda yer verildiği şekliyle sürdürülmesinde etkili olacaktır. Yaban hayatının devamlılığını sağlayan yeşil sistemin korunması, takip edilmesi, mevcut sistemin zarar görmemesi adına farkındalık oluşturan sosyal faaliyetler ve bilinçlendirme, kent hayatı içinde yaban hayatının korunmasında etkili bir yaklaşım olacaktır.

## Kaynakça

- Aksu, G. A., (2021). Kentsel Peyzajlarda Yol Kenarı Yeşil Alanların Kent Ekosistemi Çerçevesinde Değerlendirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (25), 736-748
- Aydın, B., (2010), Gelişme Alanlarında Ekolojik Kentsel Yerleşim Kriterlerinin Belirlenmesi Ve İmar Planı Kapsamında Yorumlanması: Ömerli Havzası Sancaktepe Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Deniz, vd., (2006), Peyzaj Ekolojisine Genel Bakış, ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 3(2), 5-18
- Dunnet, N., (1995), Patterns in nature: inspiration for ecological landscape design. In G. H. Griffiths (Ed), Landscape Ecology: Theory and Application, Proceedings of the 4th Annual Conference of IALE held at The University of Reading, pp. 78-85
- Emery, M., (1986), Promoting Nature in Cities and Towns: A Practical Guide. Croom Helm, London
- Flint, R., (1985), Encouraging Wildlife in Urban Parks: Guidelines to Management. The London Wildlife Trust, Gordon Press, London
- Forman, R. T. T., (1995), Land Mosaics, The Ecology of Landscapes and Regions, Cambridge University Pres.
- Güngöroğlu, C., (2008), Almanya Örneğinde Peyzaj Yaklaşımı. Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Dergisi, Cilt 1, Sayı 9, S. 43-56.
- Kendle, A. D., Forbes, S. J., (1997), Urban Nature Conservation: Landscape Management in the Urban Countryside. E & FN Spon, London
- Kennedy, C. E. J., Southwood, T. R. E. (1984), The number of insects associated with British trees: a re-analysis. Journal of Animal Ecology, 53: 455-478
- Marzluff ., M. J., Shulenberger E., Endlicher W., Alberti M, Bradley G.,Ryan., C. ZumBrunnen C., Simon U., (2008). Urban Ecology An International Perspective on the



- Interaction Between Humans and Nature. Springer Science+Business Media, New York
- Mol.T., (2006), Yaban Hayatı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları İ.Ü. Yayın No: 4643, O.F Yayın no 489, ISBN No: 975-404-766-9. İstanbul
- Oğurlu, İ. (2003), Yaban Hayatında Envanter, T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü Av ve Yaban Hayatı Dairesi Başkanlığı Matbaası, Ankara, , 208s.
- Oğurlu, İ., Gündoğdu, E., Ünal, Y., Kilimci, Ü., ( 2004), Bird Observations in Isparta (1999-2003), 1st International Eurasian Ornithology Congress, 8-11 April, Antalya-Turkey
- Oğurlu, İ., Ünal, Y., Aksan, Ş., (2010), Yaban Hayatında Biyorestorasyon, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi Cilt:I Sayfa 1225-1231, 20-22, Mayıs, 2010, Artvin Çoruh Üniversitesi, ARTVİN
- Oğurlu, İ., (2014), Çevre- Kent İmajı - Kent Kimliği- Kent Kültürü Etkileşimlerine Bir Bakış, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1(26), 275-294,
- Oğurlu, İ., 2016. Yaban Hayatı Ekolojisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 19. Isparta, s.297
- Öymen T., (2008), Yaban Hayatı Bilgisi Temel Kavramlar ve Yaban Hayatı Yönetimi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları İ.Ü. Yayın No: 4643, O.F Yayın no 489, ISBN No: 975-404-766-9. İstanbul
- Özgüner, H., (2003). Kentsel Peyzajda Doğal Stilin Fonksiyonel Değerleri ve Bunların Klasik Stille Karşılaştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri: A, Sayı: 2, ISSN: 1302-7085, Sayfa: 19-36
- Resmi Gazete, (2014), Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği 29030/2014
- Suri, L., (2020). Criteria For Determining Water Basin Boundary And The Importance Planning Decisions In Sustaining Water Resources. Fresenius Environmental Bulletin, 29(5), 3764-3777
- Suri, L., (2017), Kent Merkezlerini Planlama İlkeleri, Basılmamış Ders Notları, İstanbul Ticaret Üniversitesi
- Xiurui, G., Xianqiang M., Jurong, Y., Zhifeng, Y., (2005), China population resources and environment. Vol. 15 no. 5 pp. 126-130. China
- Tuna, A (2021), İngiltere’de Yeşil Altyapı Kavramının Uygulama Örnekleri Üzerinden İrdelenmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi,(21), 416-423.
- Tregay, R. (1986), Design and ecology in the management of nature like plantations. In A. D. Bradshaw, D. A. Goode, and E. H. P. Thorp (Eds), Ecology and Design in the Landscape, Blackwell Scientific Publications, pp. 275-284
- Yates, D. and Ruff, A. R. (1991), Encouraging nature in urban parks. Occasional Paper No: 30, Department of Planning and Landscape, University of Manchester



# Determination of the Volatile Compounds of *Chimonanthus praecox* (Wintersweet) Used as an Ornamental Plant in the Parks of Burdur (Göhlhisar)

Sevgin Özderin <sup>\*</sup>, Ebru Hatice Tıgılı Kaytanlıoğlu <sup>2</sup>, Hüseyin Fakir <sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Muğla Sıtkı Koçman University, Köyceğiz Vocational High School, Department of Forestry, Muğla, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4511-5229), sevginozderin@mu.edu.tr

<sup>2</sup> Isparta Applied Sciences of University, Faculty of Forest, Department of Forest Engineering, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9165-6675), ebrukaytanlioglu@isparta.edu.tr

<sup>3</sup> Isparta Applied Sciences of University, Faculty of Forest, Department of Forest Engineering, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6606-8011), huseyinfakir@isparta.edu.tr

(First received 6 October 2021 and in final form 6 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005547)

**ATIF/REFERENCE:** Özderin, S., Kaytanlıoğlu, E. H. T., Fakir, H., (2021). Determination of the Volatile Compounds of *Chimonanthus praecox* (Wintersweet) Used as an Ornamental Plant in the Parks of Burdur (Göhlhisar). *European Journal of Science and Technology*, (31), 916-920.

## Abstract

In this study, it was aimed to determine the volatile compounds of the flowers of wintersweet (*Chimonanthus praecox*) belonging to the Calycanthaceae family which is an exotic species and used as an ornamental plant in the parks of Burdur (Göhlhisar) in Turkey. Flower specimens were dried at room temperature, followed by determining their volatile compounds by HS-SPME/GC-MS analysis. As a result of the analysis, 33 volatile compounds belonging to the *Chimonanthus praecox* species were determined, and the first three main compounds were  $\beta$ -Ocimene at a rate of 61.87%, Sabinene at 7.65% and Caryophyllene at 5.03%. The findings that were obtained were compared to those obtained in other studies.

**Keywords:** *Chimonanthus praecox*, exotic species, volatile compound,  $\beta$ -ocimene, Turkey.

## Burdur (Göhlhisar) Parklarında Süs Bitkisi Olarak Kullanılan *Chimonanthus praecox* (Kış Tatlı Çalısı)'un Uçucu Bileşenlerinin Belirlenmesi

### Öz

Bu çalışmada egzotik bir tür olan ve Burdur (Göhlhisar) parklarında süs bitkisi olarak kullanılan Calycanthaceae familyasına ait kış tatlı çalısı (*Chimonanthus praecox*)'nın çiçek uçucu bileşenlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çiçek örnekleri oda sıcaklığında kurutulmuş ve daha sonra HS-SPME/GC-MS analizi ile uçucu bileşenleri belirlenmiştir. Analiz sonucunda *Chimonanthus praecox* türüne ait toplam 33 uçucu bileşen belirlenmiş ve ilk üç bileşen olarak;  $\beta$ -Osimen %61,87, Sabinen %7,65, Karyofilen %5.03 tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Chimonanthus praecox*, egzotik tür, uçucu bileşen,  $\beta$ -osimen, Türkiye.

\* Corresponding Author: [sevginozderin@mu.edu.tr](mailto:sevginozderin@mu.edu.tr)

## 1. Introduction

Turkey has a broad variety of plants due to its geographical structure, climatic conditions, its location in the intersection of three different floristic regions, geological characteristics, varying altitudes in the range of 0-3000 m and its inclusion of terrestrial and aquatic ecosystems. It was reported that there are about 12000 taxa in Turkey of which more than a third are endemic (Güner, 2012). The fact that Turkey has favorable conditions for growing medicinal and aromatic plants increases the importance of these plants. Medicinal and aromatic plants, whose areas of use and consumption quantities are increasing day by day worldwide, also have increasing economic significance. Many medicinal and aromatic plants are used in various fields due to their different effect mechanisms with their seeds, flowers, fruits, leaves or roots (Maksimović et al., 2005). While plants that are rich in volatile oils among medicinal and aromatic plants are increasingly gaining significance, the demand for these resources has increased much in recent years and is still increasing. These plants are frequently utilized especially in the perfume and cosmetics industries for their pleasant scent and varying contents (Genç, 2010). Essential oils are oil-like mixtures that are produced from plant parts such as roots, stems, leaves, fruits, peels and flowers or plant-derived resources that are in a liquid state or sometimes frozen at room temperature, can easily be crystallized, are generally colorless or light yellow and have a strong scent (Kevseroğlu, 1993). As essential oils have a broad area of usage, their chemical structures have been investigated, and their biological activities have been a topic of curiosity (Yaylı, 2013). While the effects of essential oils vary depending on their active ingredients, many essential oils have antimicrobial, carminative, choleric, sedative, diuretic and antispasmodic effects (Maksimović et al., 2005).

Today, plants with such value are included in planting work in landscape design areas, and they raise much interest. In addition to naturally available species growing in Turkey, several exotic species may also be used in rural and urban areas in the country for aesthetical, functional, economic and psychological purposes. A significant portion of the species that are used is imported. A part of these species is produced in nurseries in the country. Foreign-origin (exotic) plants that are used in Turkey may be grouped under trees and shrubs, bushes, and herbaceous perennial and annual plants (Söğüt, 2018). One of the plants that are used as exotic ornamental plants in parks and gardens in Turkey is *Chimonanthus praecox* (L.). *C. praecox* is a deciduous bush endemic to China and belonging to the genus *Chimonanthus* in the Calycanthaceae family, which is known as 'lâmei' or 'La Mei Hua' in Chinese, 'reubai' in Japanese and Korean and 'wintersweet' in English (Sahito et al., 2019). Due to the pleasant aromatic scent of essential oils obtained from the flowers of *C. praecox*, which flowers from December to February, the plant is utilized as one of the most expensive components of perfumes and flavors (Li et al., 2009). With its medicinal importance and flowers with a highly pleasant scent, *C. praecox*, which has naturally grown in China for more than 1000 years, is prevalently grown in parks and gardens, pots and in the form of cut flowers as an ornamental plant in temperate zones (Sahito et al., 2019). In China, the flowers and buds of *C. praecox* have been traditionally used in the treatment of tightness in the chest, heat stroke, burns, bruises, and especially coughs and rheumatic diseases (Ueyama et al., 1990; Lv et al., 2012; Morikawa et al., 2014; Xu et al., 2000). Modern pharmacological studies have reported *C. praecox* extracts' antifungal (Yu—et al., 2013), antiviral and

immunoregulatory (Wang et al., 2011; Shu et al., 2019; Zhang et al., 2009; Kitajima et al., 2006) activities. Previous studies on the chemical contents of *C. praecox* have revealed that its flowers are rich in essential oils (Gao et al., 2011), its flowers, fruits and leaves contain many sesquiterpenoids (Wang, 2011), glycosides (Wang et al., 2011) and alkaloids, while its rhizomes and seeds have antifungal effects and are rich in alkaloids and flavonoids (Ma et al., 2010; Wang et al., 2012; Zhang et al., 2009; Kitajima et al., 2006; Takayama et al., 2004).

Essential oils are a complex mixture of secondary metabolites obtained from aromatic and medicinal plants that have been in great demand in perfumery, food, veterinary, household products, cosmetic and pharmaceutical industries due to their wide range of pharmacological properties (Siddique et al., 2015; Alves-Silva et al., 2020). Turkey is producing country traditionally a medical and aromatic plant and essential oil. The sector of aromatic and medicinal plants and their essential oils is very promising at the socio-economic level for developing countries and Turkey can become a player in this market (Giray, 2019). The composition of the essential oil is depends on plant type, geographical location and collection season (Maria et al., 2008). Wintersweet (*C. praecox*), an important ornamental plant, has unique fragrant aroma and winter-flowering properties, which are used as a source of cosmetics industries. In this study it was aimed to determine the volatile compounds of *C. praecox* (wintersweet), which has specific botanical properties and is an exotic plant that is grown as an ornamental plant in Burdur-Bucak in Turkey (Figure 1). The volatile compounds of *C. praecox* were determined using the solid phase microextraction (SPME, Supelco, Germany) method.



Figure 1. *C. praecox* flowers

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

Fresh *C. praecox* flower samples, which constituted the material of this study, were collected from parks located in the center of the province of Burdur (Göhlisar) in Turkey in their flowering period (January-February 2020). The collected samples were put in bags, the bags were coded and labeled, and their labels included information on the time of collection, location and altitude. After collection, these specimens were dried in a semi-shaded, airy place at room temperature to be used in essential oil analyses later. Following the drying process, the specimens were brought to the Forest Botany Department Laboratory of the Faculty of Forestry at Isparta University of Applied Sciences for conducting essential oil analyses. The identification of the plant

specimens was made at the Biology Department Herbarium of the Faculty of Science and Letters at Süleyman Demirel University. The identified plant specimens were preserved at the Faculty of Forestry Herbarium at Isparta University of Applied Sciences.

## 2.2. Determination of floral volatile compounds by HS-SPME/GC-MS analysis

In our study, flower specimens of *C. praecox* were collected by visiting parks and gardens where this plant was grown as an ornamental plant in central Burdur (Göhlhisar) in its vegetation period. The collected flower specimens were put in bags and transported to the Laboratory of the Faculty of Forestry at Isparta University of Applied Sciences within the same day without waiting and without any exposure to sunlight. The collected plant material was dried until it reached a constant weight at room temperature (25°C).

The floral aromatic components of the *C. praecox* flowers were determined with the gas chromatography - mass spectrometry (GC-MS) method combined with the headspace solid phase microextraction (HS-SPME) method. Taking the method of solid phase microextraction (SPME, Supelco, Germany) as a basis, after keeping 2-g flower specimens put into a 10-mL vial at 60°C for 30 min, volatile compounds were absorbed from the headspace using 75- $\mu$ m-thick Carboxen-Polydimethylsiloxane (CAR/PDMS)-coated fused silica fiber and immediately injected into the capillary column (Restek Rx-5 Sil MS 30 m x 0.25 mm, 0.25  $\mu$ m) or an HS-SPME-compatible GC-MS device (Shimadzu 2010 PLUS). After the oven temperature was kept at 40°C for 2 min, it was programmed to increase up to 250°C at a heating rate of 4°C per min. The injector and detector temperatures were set at 250°C. The ionization mode was selected as EI (70 eV), while the carrier gas was helium (1.61 mL/min). The Wiley, NIST, Tutor and FFNSC libraries were utilized in the identification of the volatile compounds of the essential oil.

## 3. Results and Discussion

In this study, 33 volatile compounds were determined in the essential oil of the *C. praecox* flower specimens, and these compounds are listed in Table 1. Among these compounds, the main compounds were determined as  $\beta$ -Ocimene (61.87%), Sabinene (7.65%) and Caryophyllene (5.03%).

Table 1. Floral volatile compounds of wintersweet (*Chimonanthus praecox*)

R.T	Components	Flowering	Formula	Category
8.628	$\alpha$ -Thujene	0.41	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
8.870	$\alpha$ -Pinene	0.24	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
10.349	<b>Sabinene</b>	<b>7.65</b>	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	OM
11.037	$\beta$ -Myrcene	0.83	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	SH
11.623	l-Phellandrene	1.14	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
12.335	Benzene, methyl	0.93	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	AH
12.524	dl-Limonene	2.82	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
12.844	cis-Ocimene	0.94	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
13.288	<b><math>\beta</math>-Ocimene</b>	<b>61.87</b>	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
13.615	Cyclopentene	0.12	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	MH
13.671	1,4-Cyclohexadiene	0.39	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
14.722	Cyclohexene	0.15	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	MH
15.333	Linalool	1.83	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	OM
15.505	Nonanal	0.54	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	AAI
16.462	2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene	0.89	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
16.873	2,4,6-Octatriene	1.18	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	AH
17.690	Acetic acid	0.27	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	OC

20.559	Pulegone	0.04	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	MH
22.470	Benzo-2,3-pyrrole	0.39	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> S	OC
24.489	$\alpha$ -Cubebene	0.40	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
25.472	$\alpha$ -Copaene	1.63	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
25.946	$\beta$ -Elemene	2.45	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
26.955	<b>Caryophyllene</b>	<b>5.03</b>	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
27.810	Cadina-1(6)	0.10	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
28.132	$\alpha$ -Humulene	0.56	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
28.342	Epi-bicyclosesquiphellandrene	0.16	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	OC
28.972	Germacrene-D	2.78	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
29.220	$\beta$ -Selinene	0.22	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
29.449	Germacrene-B	1.80	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
29.550	$\alpha$ -Murolene	0.19	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
29.718	Farnesene	0.12	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
30.004	$\delta$ -Cadinene	0.74	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
30.171	$\Delta$ -Cadinene	1.16	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
		99,04		
	Component number	33		
	AH: Aromatic hydrocarbon	1,18		
	MH: Monoterpene hydrocarbon	69,01		
	OC: Other compounds	0,82		
	SH: Sesquiterpene hydrocarbon	18,01		
	OM: Oxygenated monoterpene	9,48		
	AAI: Aromatic aldehyde	0,54		

In this study, the main volatile compounds in the essential oil of the *C. praecox* flower samples collected from parks and gardens in Burdur (Göhlhisar) were determined respectively as  $\beta$ -Ocimene (61.87%), Sabinene (7.65%) and Caryophyllene (5.03%). In the literature, the contents of floral aromatic compounds determined in *Chimonanthus* specimens from different geographical regions have shown significant variations. Floral fragrance compounds of *C. praecox* were determined mainly as terpenes, benzene-derivatives, alkanes, esters, and acids (Lin, 2019). Noticeable differences have been observed in *C. praecox* flower specimens with different colors collected from the same region. For example, the main aromatic compounds in *C. nitens*, *C. zhejiangensis* and *C. salicifolius* flowers collected from Zhejiang were determined as hedyacryol and  $\alpha$ -myrcene (Xu, 2016). Furthermore, linalool, benzyl acetate, trans- $\beta$ -ocimene and  $\beta$ -ocimene were found in different genotypes of *C. praecox* collected from Wuhan, and it was reported that the concentrations of these floral aromatic compounds were also different (Yu, 2013; Li, 2015). It was also observed that the floral aromatic compound contents of the same variety of *C. praecox* collected from different plantation areas showed differences. For instance, the main floral aromatic compounds of *C. nitens* collected from Zhejiang and Jiangxi were respectively hedyacryol and  $\alpha$ -myrcene (Xu et al., 2016) and dehydro-aromadendrene and (-)-spatulol (Xu et al., 2006). In *C. praecox* var. *concolor* specimens, the main floral aromatic compounds from Hubei and Sichuan were reported respectively as alloocimene and benzyl acetate (Zhou et al., 2010) and z-murolene and z-elemene (Li et al., 2008), benzyl acetate and alloocimene (Zhou et al., 2010) and elemol and z-elemene (Li et al., 2008).

Different studies have determined the main aromatic compounds of *C. praecox* var. *concolor* flowers as trans- $\beta$ -ocimene linalool and  $\beta$ -myrcene (Zhou et al., 2007), alloocimene, benzyl acetate and methyl salicylate (Zhou et al., 2010), linalool, benzyl acetate and methyl salicylate (Yu, 2013), linalool, benzyl alcohol and methyl salicylate (Li, 2015), and consecutively  $\epsilon$ -murolene,  $\delta$ -elemene and L-bornyl acetate (Li et al., 2008). The main floral aromatic compounds of *C. praecox* var. *patens* have



been found as benzyl acetate, linalool and caryophyllene (Zhou et al., 2007), benzyl acetate, alloocimene and methyl salicylate (Zhou et al., 2010), linalool, benzyl acetate and methyl salicylate (Yu, 2013),  $\beta$ -ocimene, linalool and benzyl acetate (Li, 2015), elemol,  $\alpha$ -elemene and  $\beta$ -Cubebene (Li et al., 2008). Considering previous studies, it may be seen that the compounds that we identified as the main volatile compounds in our study and their concentrations differed from those in other studies. As mentioned in the literature, different geographical regions and different flower colors have a significant effect on the aromatic compounds of *C. praecox* flowers. This study is expected to form a basis for the diversification and prevalence of the usage areas of *C. praecox* by determining the floral aromatic compounds of *C. praecox* growing in the Burdur (Göhlisar) region in Turkey, and cultivation studies are expected to accelerate.

## References

- Alves-Silva, J.M., Guerra, I., Gonçalves, M.J., Cavaleiro, C., Cruz, M.T., Figueirinha, A. & Salgueiro, L. (2020). Chemical composition of *Crithmum maritimum* L. essential oil and hydrodistillation residual water by GC-MS and HPLC-DAD-MS/MS, and their biological activities. *Ind. Crop Prod.* 149, 112329.
- Gao, Y., Jin, F.Y., & Wang, X.P. (2011). The analysis of volatile oil for *Chimonanthus praecox* by GC-MS [J]. *Lishizhen Med Mater Med Res*, 22(3), 122-123.
- Genç, L. (2010). Usage Areas and Ethics of Medicinal and Aromatic Plants, Anadolu University Publications, Eskişehir.329.
- Giray F.H. (2018). An Analysis of World Lavender Oil Markets and Lessons for Turkey, *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 21(6), 1612-1623.
- Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., & Babaç, M.T. (edlr.) (2012). List of plants of Turkey: (tracheophytes). Nezahat Gökyiğit Botanical Garden Press., İstanbul.
- Kevseroğlu, K.. (1993). The place and importance of plants containing essential oil in medicine and other industries. OMÜ Journal of the Faculty of Agriculture, 8(1), 254-264.
- Kitajima, M., Mori, I., Arai, K., Kogure, N., & Takayama, H. (2006). Two new tryptamine-derived alkaloids from *Chimonanthus praecox* f. concolor. *Tetrahedron Letters*, 47(19), 3199-3202.
- Lawless, J. (1995). The illustrated encyclopedia of essential oils: the complete illustrated guide to the use of oils in aromatherapy and herbalism. Shaftesbury, Dorset, UK: Element.
- Li, Y.Y. (2015). Study of Floral Volatile Components and Lins Promoter Structure in Wintersweet. Master's Thesis, Huazhong Agricultural University, Wuhan, China
- Li, Z. G., Liu, M. C., Deng, W., Wang, X. Y., Wang, G. M., & Yang, Y. W. (2008). Comparative analysis of the essential oil from two *Chimonanthus praecox* cultivars. *Fine Chemicals*, 25(10), 985-988.
- Lin, X. (2019). Research Pogression Volatile Components of *Chimonanthus Lindl.* Fujian Agric. *Sci. Technol.*, (7), 57–64.
- Lv, J.F.; Zhang, L.L., Chu, X.Z., & Zhou, J.F. (2012). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of the extracts of the flowers of the Chinese plant *Chimonanthus praecox*. *Nat. Prod. Res.*26(14), 1363–1367.
- Ma, X.M., Wu, C.F., & Peng, R.R. (2010). Advance in studies on *Chimonanthus praecox* [J]. *J Anhui Agri Sci*, , 38(34): 19279-19280.
- Maksimovic, Z.A., Dordevic, S. & Mraovic, M. (2005). Antimicrobial activity of *Chenopodium botrys* essential oil. *Fitoterapia*.76,112-114.
- Morikawa, T., Nakanishi, Y., Ninomiya, K., Matsuda, H., Nakashima, S., Miyashita, H., Yoshikawa, M., & Hayakawa, T. (2014). Dimeric pyrrolidinoindoline-type alkaloids with melanogenesis inhibitory activity in flower buds of *Chimonanthus praecox*. *J. Nat. Med.*, 68(3), 539–549.
- Rota, M.C., Herrera A., Martinez, R.M., Sotomayor, J.A., & Jordan M.J. (2008). Antimicrobial activity and chemical composition of *Thymus vulgaris*, *Thymus zygis* and *Thymus hyemalis* essential oils, *Food Control*, 19(7), 681-687.
- Sahito, Z. A., Khan, D., Zehra, A., & Zaki, M. J. (2019). Variation In Pseudocarp- And Seed-Size And Seed Packaging Cost In *Chimonanthus Praecox* (L.) Link. (Family Calycanthaceae) From Chengdu, Sichuan Province, China *Int. J. Biol. Biotech.*, 16 (3), 835-848.
- Shu, R., Wan, Y., Wang, X. (2019). Non-volatile constituents and pharmacology of *Chimonanthus*: a review. *Chin J Nat Med.* 17(3), 161–186.
- Siddique, S., Perveen, Z., Nawaz, S., Shahzad K. & Ali, Z. (2015). Chemical composition and antimicrobial activities of essential oils of six species from family Myrtaceae. *J. Essent. Oil Bear. Plants*, 18(4), 950-956.
- Söğüt, Z. (2018). Evaluation of using exotic plant species at Turkey. International Geography Symposium on the 30th Anniversary of TUCAUM. 3-6 Ekim 2018 /3-6 October 2018, Ankara.
- Takayama, H., Matsuda, Y., Masubuchi, K., Ishida, A., Kitajima, M., & Aimi, N. (2004). Isolation, structure elucidation, and total synthesis of two new *Chimonanthus* alkaloids, chimonamidine and chimonanthidine. *Tetrahedron*, 60(4). 893– 900.
- Ueyama, Y., Hashimoto, S., Nii, H., & Furukawa, K. (1990). The volatile constituents of the flower concrete of *Chimonanthus praecox* Link. From China *J. Flavour Fragr J.*, 5(2),85-88.
- Wang, L.Y., Zhang, Z.B., Zhou, Z.R., & Zhu, D. (2012). Advances in studies on chemical constitutions and pharmacological action of *Chimonanthus praecox*. *Lishizhen Med Mater Med Res*, 23(12), 3103-3106.
- Wang, W., Cao, L., Xiong, J., Xia, G., & Hu, J. (2011). Constituents from *Chimonanthus praecox* (wintersweet). *Phytochem Lett.* 4(3), 271–274.
- Xu, M., Zhang, J.W., Wu, L.S., Liu, J.J., Si, J.P., & Zhang, X.F. (2016). Determination of Volatile Components from *Chimonanthus* Flowers by HS-SPME-GC-MS. *Sci. Silvae Sin.*, 52(12), 58–65.
- Xu, N.J., Bai, H.B., Yan, X.J., & Xu, J.L. (2006). Analysis of Volatile Components in Essential Oil of *Chimonanthus nitens* by Capillary Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Instrum. Anal.* 25(1), 90–93.
- Xu, W.Y., & Jiang, P. (2000). Development and clinical application of *Chimonanthus praecox* flower cough syrup. *Acta Acad. Med. Suzhou*, 20(1), 122–123.
- Yaylı, N., (2013). Essential Oils and Their Medicinal Uses, Karadeniz Technical University, Faculty of Pharmacy Press,1-2-4.
- Yu, C-L., Kuang, Y.I, Yang S. X., LIU, L. & LIU, C-G. (2013). Chemical Composition, Antifungal Activity and Toxicity of Essential Oils from Leaves of *Chimonanthus praecox* and *Chimonanthus zhejiangensis*. *Asian Journal of Chemistry*, 26(1), 254-256

- Zhang, J.W, Gao, J.M., Xu, T., Zhang, X.C, Ma, Y.T., Jarussophon, S., &Konishi, Y. (2009). Antifungal activity of alkaloids from the seeds of *Chimonanthus praecox* [J]. *Chem Biodivers*, 6(6), 838-845.
- Zhao, Y., Zhang, Y., & Wang, Z.Z. (2010). Chemical composition and biological activities of essential oil from flower of *Chimonanthus praecox* (L.) link. *Lishizhen Med Material Med Res.*,21,622–5.
- Zhou, J.R., & Ni, D.J. (2010). Changes in Flower Aroma Compounds of Cultivars of *Chimonanthus praecox* (L.) Link and at Different Stages Relative to Chimonanthus Tea Quality. *Acta Hortic. Sin.*,37(10), 1621–1628.
- Zhou, M.Q., Xiang, L., & Chen, L.Q. (2007). Reliminary Studies on the Components of Volatile Floral Flavor and Flower Pigments of *Chimonanthus praecox*. *Beijing For. Univ.*, 29, 22–25.



# The Application of Leader Following Method and Cubic Polynomial Path Planning Algorithm with Formation Control on Multi-Robot Systems

Nuri Efe Tatlı<sup>1\*</sup>, Dilara Fidan<sup>2</sup>, Beyzanur Kalaycı<sup>3</sup>, Cem Çeber<sup>4</sup>, Pınar Oğuz Ekim<sup>5</sup>

<sup>1</sup>İzmir University of Economics, Faculty of Eng., Department of Mechatronics Eng., İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3975-1605), nuriefetatli@gmail.com

<sup>2</sup>İzmir University of Economics, Faculty of Eng., Department of Mechatronics Eng., İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3408-3735), dilaraafidan@gmail.com

<sup>3</sup>İzmir University of Economics, Faculty of Eng., Department of Mechatronics Eng., İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8949-5569), beyzanur.kalayci@outlook.com

<sup>4</sup>İzmir University of Economics, Faculty of Eng., Department of Mechatronics Eng., İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2355-3196), cebercem@gmail.com

<sup>5</sup>İzmir University of Economics, Faculty of Eng., Dep. of Electrical and Electronics Eng., İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1860-4526), pinar.ekim@ieu.edu.tr

(First received 1 October 2021 and in final form 30 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1003330)

**ATIF/REFERENCE:** Tatlı, N. E., Fidan, D., Kalaycı, B., Çeber, C. & Oğuz-Ekim, P. (2021). The Application of Leader Following Method and Cubic Polynomial Path Planning Algorithm with Formation Control on Multi-Robot Systems. *European Journal of Science and Technology*, (31), 921-927.

## Abstract

In this study, the movement of mobile robots on a certain path by preserving their formation and with a leader-follower was examined. Knowing the initial and final positions and orientations of the leader robot, the cubic polynomial was used and the positions of the leader at all points on the path were found. Then, the positions, where the followers were found with the homogeneous transformations, were calculated in order to provide the equilateral triangle formation. The velocity profile of the leader was calculated with certain calculations by determining the maximum velocity for the leader. Controller has been designed for the leader's right and left motors. In order to find the velocity of the follower robots, it was calculated by using the position information that the robots should be at a certain moment. The resulting graphics showed how the robots would create a path at certain angles. The distance values that should be between the robots and the location information from the UWB (Ultra-wideband) were shown on the Matlab graphics. The calculated linear velocities and desired velocities of the leader and follower robots are shown graphically. In the control diagram created for the left and right motors of the leader robot, it has been shown how the linear and angular velocities are affected by PID.

**Keywords:** path planning, formation control, leader-following method, UWB (Ultra-wideband), cubic polynomial, mobile robots, multi-robot systems, homogeneous transformation.

## Lider Takip Metodu ve Kübik Polinom Yol Planlama Algoritmasının Formasyon Kontrollü Çoklu Robot Sistemlerinde Uygulanması

### Öz

Bu çalışmada, mobil robotların oluşumlarını koruyarak ve lider takip ederek belirli bir yol üzerinde hareketi incelenmiştir. Lider robotun başlangıç ve son konumları ve yönelimleri bilinerek kübik polinom kullanılmış ve yol üzerindeki tüm noktalarda liderin konumları bulunmuştur. Daha sonra eşkenar üçgen oluşumunu sağlamak için homojen dönüşümler ile takipçilerin bulunduğu konumlar hesaplanmıştır. Lider için maksimum hız belirlenerek belirli hesaplamalar ile liderin hız profili hesaplanmıştır. Kontrolör, liderin sağ ve sol motorları için tasarlanmıştır. Takip eden robotların hızlarını bulmak için robotların belirli bir anda olması gereken konum bilgileri kullanılarak hesaplanmıştır. Ortaya çıkan grafikler, robotların belirli açılarda nasıl bir yol oluşturacağını göstermiştir. Robotlar arasında olması gereken mesafe değerleri ile UWB'den (Ultra geniş bant) gelen konum bilgisi Matlab grafiği üzerinde gösterilmiştir. Lider ve takipçi robotların hesaplanan lineer hızları ve istenilen hızları grafiksel olarak gösterilmiştir. Lider robotun sol ve sağ motorları için oluşturulan kontrol diyagramında lineer ve açısal hızların PID'den nasıl etkilendiği gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** yol planlama, oluşum kontrolü, lider izleme yöntemi, kübik polinom, mobil robotlar, çok robotlu sistemler, homojen dönüşüm.

\* Corresponding Author: [pinar.ekim@ieu.edu.tr](mailto:pinar.ekim@ieu.edu.tr)

## 1. Introduction

Industrial robots began to join the workforce a few decades back. Through the years, this automation advancement has begun to dominate the workforce. Coupled with its cost-effectiveness, the robots are also starting to cost less than their human equivalents. This helps understand their growth in prominence in the industrial environments. Instead of a big and costly robot, it is desired to have multiple small and cost-effective mobile robots to fulfill the desired tasks such as carrying heavy loads. Hence the formation control of multiple robots is needed. In other words, the swarm robotics is an approach that aims to perform the task of the same type of robots with simple abilities rather than performing the task by robots with superior abilities (Mısırlı, O. et al, 2020).

In (A. Gautam et al., 2012), the most widely used formation control approaches were discussed and compared in terms of some properties. The leader-follower approach's working principle was explained as "Uses several agents as leaders and others as followers. This method is easy to understand, and it ensures formation maintenance if the leaders are disturbed. However, the desired formation cannot be maintained if followers are perturbed unless formation feedback is implemented." in (K.D. Do et al., 2012).

There are different approaches in the leader-follower method too. In (X. Zhang et al., 2020) the distributed control for leader-following formation of mobile robots with unknown amplitudes of leader's velocity was considered. In (Kılıçarslan Ouach, M. et al., 2021), the leader-Follower formation control, the control rule aimed to preserve the distance and angle of the first follower relative to the leader, and the distance values of the second follower relative to the leader and to the first follower. In (Z. Qiao et al., 2020), they proposed to take the communication condition into account, build and dynamically update a graph for group partition. In (Yaşar, E. et al., 2020) in order to the main mission robot to create a path most appropriate to the target point, this path was created with the communication of the swarm robot individuals and the main mission robot. In (A. Loria et al., 2016) the formation control problem on straight-line paths with time-varying nonlinear controllers which rely on a property of persistence of excitation for nonlinear systems was solved. There are also different categorization approaches such as position-based control, displacement-based control and distance-based control and they were discussed in detail in (Oh K et al., 2015). To control a group of robots in terms of communication networks, there are also control types such as centralized and decentralized (K.D. Do et al., 2012), (H. Rezaee et al., 2014).

There are different ways to build a multi-agent system using a leader-follower approach. The whole system can be seen as one body and one leader directs the whole system. Besides, there can be multiple leader-follower sets. The follower robot can also be a leader of another robot. In (Jinyan et al., 2005), the tree graph theory was used to formalize more complex general configurations (N robots) based on the formations of two-robot systems. In (Li et al., 2005), the cartesian coordinate representation was used instead of the polar coordinate representation to eliminate the possible singularity points that may occur as the denominator in the controller formula may be zero at certain points.

Most of the formation control algorithms use position and velocity measurements to achieve the desired formation and pose. In (X. Liang et al., 2018), Liang G et al. proposed a new leader-follower formation tracking control schemes without using both

position and velocity measurements by using onboard perspective cameras.

There is also a method that uses only position measurements and estimates the leader's velocity. In (H.A. Poonawala et al., 2013) Poonawala et al. presented a method that guarantees convergence of the relative position of any follower robot (concerning its leader) to desired values and their controllers do not require sensing of the leader's velocity. They used an adaptive method to estimate the leader's forward velocity. The drawback of (H.A. Poonawala et al., 2013) is that the condition for the controller is that the leader robot moves with a constant velocity.

In the real world, there are always obstacles that are dynamic or static. It is important to have a reliable obstacle avoidance algorithm that keeps the formation while avoiding the obstacles. In (Jinyan et al., 2005), the existence of the virtual shell surroundings for each robot is assumed. The work in (H. Xiao et al., 2016) contains two models: 1) separation-bearing-orientation scheme (SBOS) for regular formation control and 2) separation-distance scheme (SDS) for obstacle avoidance. In (M. Sisto et al., 2006), the fuzzy logic formation controller and fuzzy inter-collision avoidance controller were developed for the model. In (H. Jiao et al., 2016), to solve the low recognition efficiency during dynamic changes in the positioning of the tags the ALOHA anti-collision algorithm was combined with the tag capacity issues in the Ultra-Wideband (UWB) indoor location. In the literature (Yıldırım, M. et al., 2021) made a conclusion on the path planning of multiple robots by observing linear and nonlinear objective functions.

In this study, the leader-follower method is proposed to achieve the right triangular form using three agents and the algorithm uses the leader robot's estimated velocity. The path planning for the leader robot was developed using the cubic polynomial method. A calculated path is used to calculate the control inputs of the leader robot. The estimated velocity of the leader robot is used to control the follower robots. The most important point of this project is that the mobile robot plans the most appropriate path according to the conditions and acts in accordance with that plan.

## 2. Material and Method

### 2.1. The Path Planning

Based on the leader's first position and orientation ( $X_1, Y_1, \theta_1$ ) and the leader's final position and orientation ( $X_2, Y_2, \theta_2$ ), the values on the path are found thanks to the cubic polynomial equation of 3<sup>rd</sup> order in (1).

$$y = a_3 * x^3 + a_2 * x^2 + a_1 * x + a_0 \quad (1)$$

For the initial and final conditions, the values are implemented to the cubic polynomial equation and the matrix in (2) was provided.

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & x_1^3 \\ 1 & x_2 & x_2^2 & x_2^3 \\ 0 & 1 & 2x_1 & 3x_1^2 \\ 0 & 1 & 2x_2 & 3x_2^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \tan \theta_1 \\ \tan \theta_2 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

From this matrix equation  $a_0, a_1, a_2, a_3$  values were obtained.



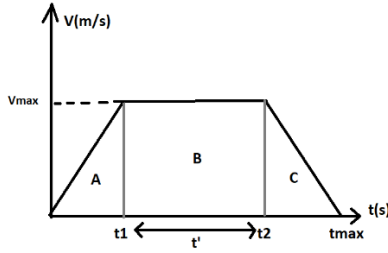


Fig.1. Trapezoidal velocity profile with  $V_{max}$  and time information.

While creating the velocity profile, predetermined maximum speed ( $V_{max}$ ) and maximum acceleration ( $a_{max}$ ) values should be found. Thanks to these values, the parameters such as acceleration time (3), the path taken by the robot (4) and, the acceleration area (5) are calculated. The speed profile was selected as the trapezoidal velocity profile in this work. A, B and C represent the area they are in.

$$t_1 = \frac{V_{max}}{a_{max}} \quad (3)$$

$$S_{max} = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + y'^2} dx = A + B + C \quad (4)$$

$$A = 0.5 * V_{max} * t_1 \quad (5)$$

The time information when the velocity is constant (6) and the maximum time the robot reach (7) is obtained from the equations respectively:

$$t' = t_2 + t_1 = \frac{S_{max} - 2 * A}{V_{max}} \quad (6)$$

$$t_{max} = 2 * t_1 + t' \quad (7)$$

$$S_2 = S_{max} - A \quad (8)$$

Using the above equations, the time function is written as:

$$T(S) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2 * S}{a_{max}}} & S \leq A \\ \frac{S - A}{V_{max}} + t_1 & A < S \leq S_2 \\ t_{max} - \sqrt{\frac{2 * (S_{max} - S)}{a_{max}}} & S_2 < S \end{cases} \quad (9)$$

Thanks to the calculations, the position (x, y) of the leading robot and the time when it is in that position are known.

## 2.2. The Localization with UWB

X and Y values obtained by the path planning on MATLAB were used as source data. Anchors are used to finding the position of the robot in the environment. These anchors can be placed randomly in the room, but their location information must be known. Each anchor is considered with (x, y, z) values. With this information, the UWB based algorithm was used to determine the instant positions of the robots (P. Oğuz-Ekim et. al., 2019). By knowing the positions, the desired position and the speed of the follower robots will be determined.

## 2.3 The Velocity Calculations of The Leader

Since the velocity profile is trapezoidal as shown in Figure 1, the velocity calculation has 3 parts:

$$V(t) = \begin{cases} a_{max} * t, & t \leq t_1 \\ V_{max}, & t_1 < t \leq t_2 \\ V_{max} - a_{max} * (t - t_2), & t > t_2 \end{cases} \quad (10)$$

To calculate the angular velocity, the radius of curvature (11) is calculated for every x value.

$$R(x) = \frac{\sqrt{(1 + (y'(x))^2)^3}}{|y''(x)|} \quad (11)$$

Using V and R, the angular velocity (w) at each step calculated;

$$w = V/R, \quad (12)$$

The left and right wheel velocities (13) and (14) for differential drive are calculated using the angular velocity (w), the radius of curvature (R), and distance between the wheels (l);

$$V_{left} = w * \left(R - \frac{l}{2}\right), \quad (13)$$

$$V_{right} = w * \left(R + \frac{l}{2}\right), \quad (14)$$

## 2.4 Control Diagram for Leader

The controller is designed to control the left and right wheel motors of the leader robot. The controller takes left and right linear velocities as an input. Since the simulation environment gives perfect results, the transfer functions of the motors were designed a little differently to consider some error.

PID values were determined considering the following information. Proportional (P) value was added to speed up the system, that is, to reduce the rise time, and then the Derivative (D) value was added to reduce the value of the resulting damping. Integral (I) value was not preferred much to avoid delay in the system, but (I) is added to the parts to reduce the error.

## 2.5 Homogeneous Transformation

In this paper, the positions of the follower robots at the back should be found by taking the position of the leader as a reference. While the leader robot changes its position, it also changes the angle it looks at in other words its orientation, in motion. Therefore, the homogeneous transformation equation (15) was used to find the correct locations. The calculation was made between the coordinate plane of the leader robot and the general coordinate system.

$$P_{global} = O_{leader}^{global} + R_{leader}^{global} * P_{leader}. \quad (15)$$

The vectors for the homogeneous transformations are given in Figure 2. The required values are the instantaneous position of the leader, the instantaneous angle of the leader with the global, and

the x-y positions from the leader to the follower. Since the rotation is performed around the z-axis, the rotation matrix on the z-axis is used.

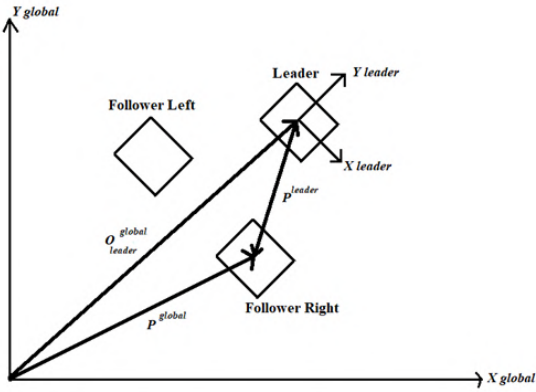


Fig.2. Vectors for homogeneous transformations

Here  $\theta$  (16) is the orientation of the leader according to the global coordinate system. It is calculated as;

$$\theta(t) = \text{atan}\left(\frac{Y(t)-Y(t-1)}{X(t)-X(t-1)}\right), \quad (16)$$

$$R_{leader}^{global} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (17)$$

If it is desired to find the positions of the followers according to the leader, the formation in which the robot is located should be considered. The robot is thought to provide the equilateral triangle formation as shown in Figure 3. When the side length is considered as  $d$ , the following equations emerge. The rotation matrix is represented as (17).

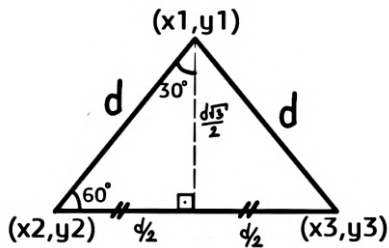


Fig.3. Followers' coordinate calculations according to the leader.

The position vector of the left-follower (18) according to leader:

$$P_{left}^{leader} = \begin{bmatrix} -\frac{d}{2} \\ -\frac{d\sqrt{3}}{2} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (18)$$

The general formula for the left-follower (19):

$$P_{left}^{global} = \begin{bmatrix} leader\_x \\ leader\_y \\ 0 \end{bmatrix} + R_{leader}^{global} * P_{left}^{leader}, \quad (19)$$

The position vector of the right-follower according to the leader (20):

$$P_{right}^{leader} = \begin{bmatrix} \frac{d}{2} \\ -\frac{d\sqrt{3}}{2} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (20)$$

The general formula for the right-follower (21):

$$P_{right}^{global} = \begin{bmatrix} leader\_x \\ leader\_y \\ 0 \end{bmatrix} + R_{leader}^{global} * P_{right}^{leader}. \quad (21)$$

In this way, by using both translation and rotation, the positions of the followers known in the coordinates of the leader are calculated according to the global frame.

### 2.6 The Velocity Calculations of Followers

The arc length of the curvature between each step ( $L$ ) and the corresponding radius of curvature ( $R$ ) is calculated using MATLAB functions by Are Mjaavatten (Are et al., 2021).

$$V_{follower}(t) = \frac{L(t)-L(t-1)}{t-(t-1)}, \quad (22)$$

$$w_{follower} = \frac{V_{follower}}{R_{follower}}, \quad (23)$$

$$V_{follower-left} = w_{follower} * \left(R_{follower} - \frac{l}{2}\right), \quad (24)$$

$$V_{follower-right} = w_{follower} * \left(R_{follower} + \frac{l}{2}\right). \quad (25)$$

The flowchart of the algorithm is given in Figure 4.

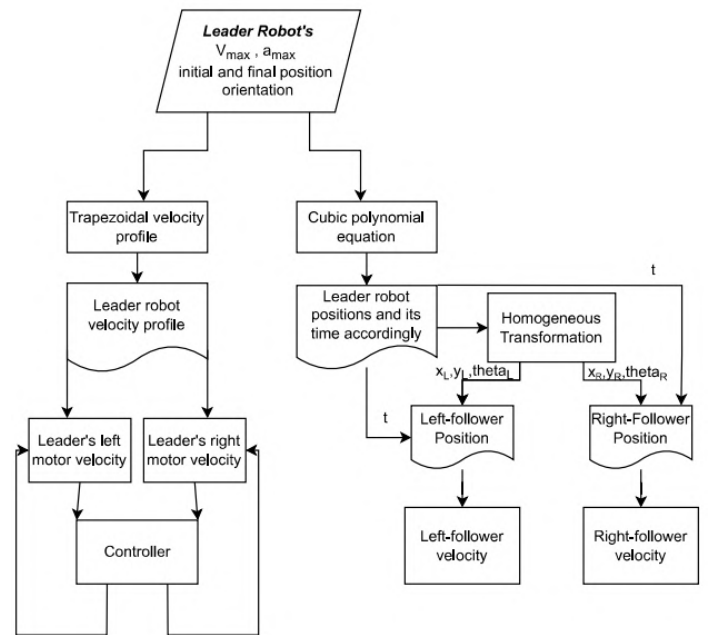


Fig.4. Flowchart of the algorithm

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. The Path Generation

The algorithm uses the tangent function to calculate the coefficients. Since the tangent uses inputs between -90 degrees to 90 degrees (first and fourth quadrants of the cartesian coordinate system), the algorithm does not work properly on the second and third quadrants. The paths of the leader and the follower robots can be observed in Figure 5 and it can be concluded that during the whole trajectory the triangular formation of robots is preserved.

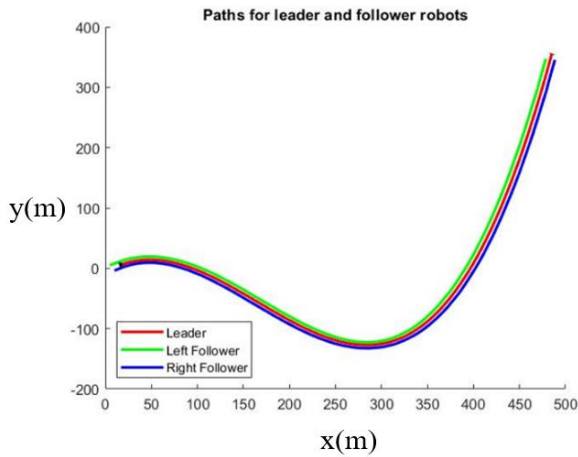


Fig.5. Theta values in first quadrant ( $\theta_1 = 30^\circ$ ,  $\theta_2 = 80^\circ$ )

For the initial and final orientations in the first and fourth quadrants, the algorithm works fine, and the formation is preserved.

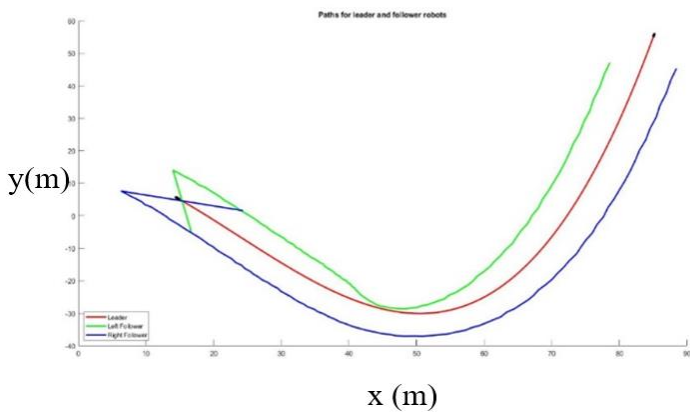


Fig.6. Paths for robots ( $\theta_1 = 130^\circ$ ,  $\theta_2 = 80^\circ$ )

Since arctangent is used to calculate the angle (16) in the algorithm, it gives an error for the angles in the second and third quadrants, this is observed in Fig.6. The angles in this area are perceived as being subtracted from 180 degrees and are processed accordingly. This is one of the results encountered.

#### 3.2. UWB Localization

The errors on the position of the leader that is calculated via UWB are negligible which are shown in Figure 7. Since the desired positions for the followers are calculated using the leader's position on UWB, the followers have errors in their

positions. For the right triangular formation, the desired distance between robots should be 10 meters. Figure 8 shows that the distances between the leader and the followers have bigger errors than the distance between followers.

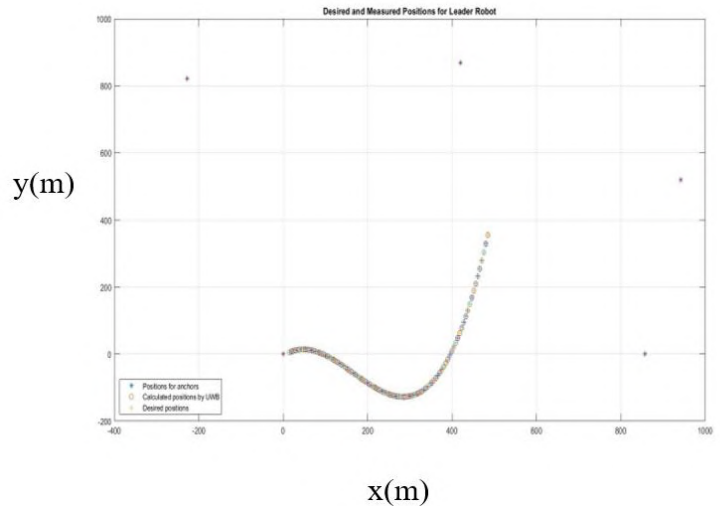


Fig.7. The Desired and calculated positions for the leader robot. The errors are not too big; thus, they are negligible.

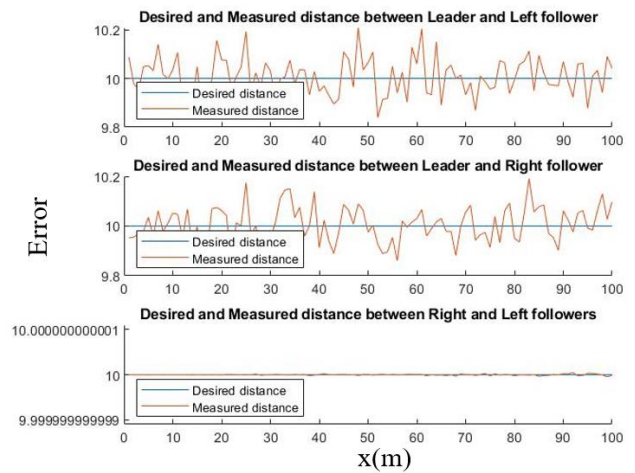


Fig.8. Errors on formation via the desired distance between robots

#### 3.3. Velocity

As shown in Figure 9, firstly the robots turn right and then they turn left. So, in the first part, the robot that is located on the left of the leader should take more distance and for turning left, the robot that is located on the right of the leader should take more distance. Although the results have some noise, it can be easily seen that the velocity profiles match their paths.

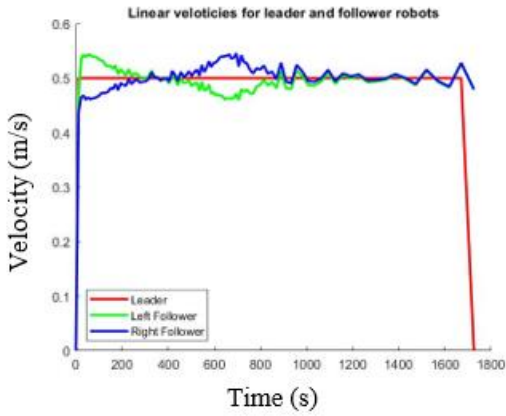


Fig.9. Velocity profiles of robots

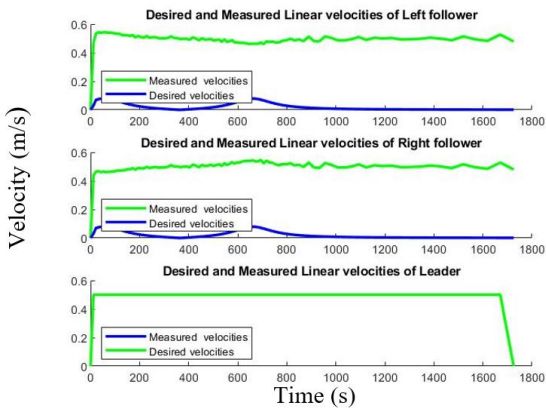


Fig.10. Desired and calculated velocity profiles

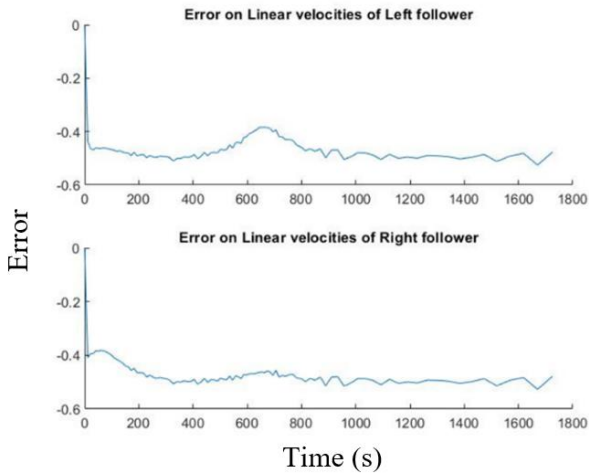


Fig.11. Errors on Linear velocities for follower robots

The noise is cumulatively increasing according to calculations as shown in Figure 10. In Figure 11, the maximum error is nearly 0.2 on a distance basis; however, on a velocity basis, the error is nearly 2.5 times greater than the error on a distance basis.

### 3.4. Controller

The linear and the angular velocities were examined with and without the PID controller. In the linear velocity case shown in Figure 12, the system was stable and had a rapid response time; however, it had oscillations and could not reach the desired velocity. In the angular velocity case shown in Figure 13, the system again had a rapid response time, but it was unstable and had oscillations.

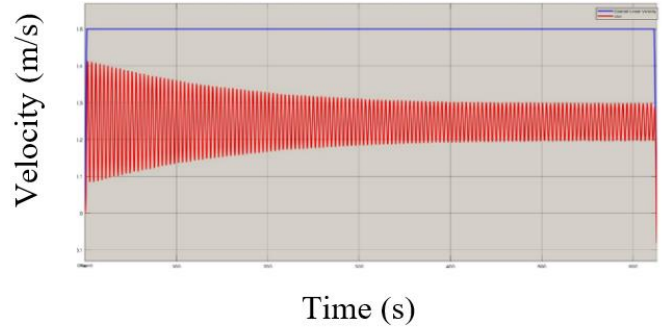


Fig.12 Linear Velocity without PID controller

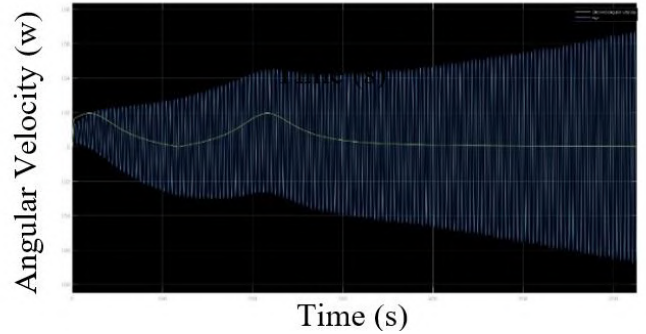


Fig.13 Angular Velocity without PID controller

After the PID controllers were tuned, both systems became stable. The error on linear velocity was measured as 0.03 m/s and the error on angular velocity was measured as 0.01 degree/sec.

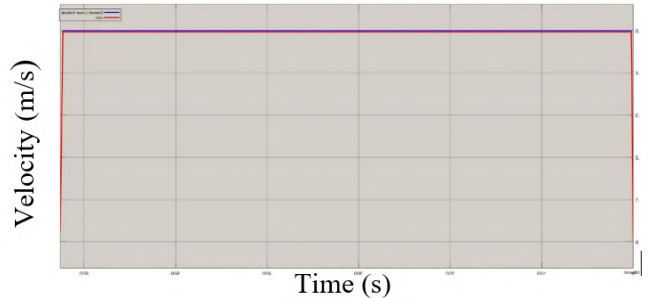


Fig.14 Linear Velocity with PID controller

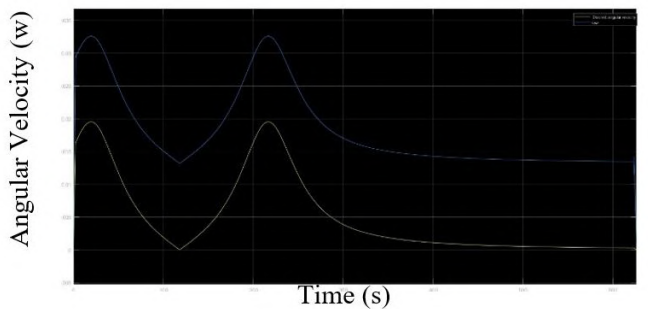


Fig.15 Angular Velocity with PID controller

## 4. Conclusions and Recommendations

The speed control and formation algorithm of autonomous robots in a certain formation were examined. In the path planning, if the first and last points of the robot and the orientations are known, the path through which the robot passes is reached with a 3-degree cubic polynomial, but due to the  $\tan\theta$  equality in the



matrix used in the solution, the angles are always given between -90 and +90 values. To solve this problem and to get more accurate data, a pure-pursuit algorithm will be used.

The speed information of the leader has been reached thanks to the time piecewise function obtained from the path taken by the leader robot. Thus, the position, speed and orientation of the leader robot with respect to time were calculated. By combining this information and the homogeneous transformation method, the positions of the follower robots were calculated. The velocity calculations were made with this information for the follower robots that needed to be found at certain points at a certain time.

## 5. Acknowledge

This research is supported by Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK), project number 119E376.

## References

- A. Gautam and S. Mohan, "A review of research in multi-robot systems," 2012 IEEE 7th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), Chennai, 2012, pp.1
- A. Loria, J. Dasdemir and N. Alvarez Jarquin, "Leader-Follower Formation and Tracking Control of Mobile Robots Along Straight Paths," in IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 24, no. 2, pp. 727-732, March 2016, doi: 10.1109/TCST.2015.2437328.
- Are Mjaavatten (2021). Curvature of a 1D curve in a 2D or 3D space, MATLAB Central File Exchange Retrieved July 10, 2021.
- E. Yaşar (2020). Using Swarm Robots in Motion Planning. European Journal of Science and Technology, (20),24-29.
- H. A. Poonawala, A. C. Satici and M. W. Spong, "Leader-follower formation control of nonholonomic wheeled mobile robots using only position measurements," 2013 9th Asian Control Conference (ASCC), Istanbul, 2013, pp. 1-6, doi: 10.1109/ASCC.2013.6606313.
- H. Jiao, C. Shen, G. Feng and P. Ling, "Research on multi-tag anti-collision algorithm based on UWB real-time positioning system," 2016 IEEE Conference on Wireless Sensors (ICWiSE), Langkawi, 2016, pp. 54-58, doi: 10.1109/ICWiSE.2016.8188542.
- H. Rezaee and F. Abdollahi, "A Decentralized Cooperative Control Scheme With Obstacle Avoidance for a Team of Mobile Robots," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 61, no. 1, pp. 347-354, Jan. 2014, doi: 10.1109/TIE.2013.2245612.
- H. Xiao, Z. Li and C. L. Philip Chen, "Formation Control of Leader-Follower Mobile Robots' Systems Using Model Predictive Control Based on Neural-Dynamic Optimization," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 63, no. 9, pp. 5752-5762, Sept. 2016, doi: 10.1109/TIE.2016.2542788.
- Jinyan Shao, Guangming Xie, Junzhi Yu and Long Wang, "Leader-Following Formation Control of Multiple Mobile Robots," Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on, Mediterranean Conference on Control and Automation Intelligent Control, 2005., Limassol, 2005, pp. 808-813, doi: 10.1109/2005.1467118.
- K.D. Do, Formation control of multiple elliptical agents with limited sensing ranges, Automatica, Volume 48, Issue 7, 2012, Pages 1330-1338, ISSN 0005-1098
- Li, Xiaohai & Xiao, Jizhong. (2005). Robot Formation Control in Leader-Follower Motion Using Direct Lyapunov Method. 10.
- M. Kılıçarslan Ouach & T. Eren (2021). Mobil Robotların Formasyon Kontrolünde Giriş Kısıtlamaları. International Journal of Engineering Research and Development, 13 (2), 680-689. DOI: 10.29137/umagd.908696
- M. Sisto and D. Gu, "A Fuzzy Leader-Follower Approach to Formation Control of Multiple Mobile Robots," 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Beijing, 2006, pp. 2515-2520, doi: 10.1109/IROS.2006.281698.
- M. Y. Yıldırım, R. Akay (2021). Investigation of Linearity in Path Planning of Mobile Robot. European Journal of Science and Technology, (24), 138-142.
- P. Oğuz-Ekim, S. Tekkök, B. Bostancı, E. Söyünmez and F. Yeaganli, "The lidar and uwb based source localization and initialization algorithms for autonomous robotic systems", 11th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), November 2019.
- O. Mısıır& L. Gökrem (2020). Flexible and Scalable Aggregation Behavior Method for Swarm Robots. European Journal of Science and Technology, (Special Issue), 100-109.
- Oh K K, Park M C, Ahn H S. A survey of multi-agent formation control[M]. Pergamon Press, Inc. 2015
- W. Guanghua, L. Deyi, G. Wenyan, J. Peng, "Study on Formation Control of Multi-Robot Systems", Third International Conference on Intelligent System Design and Engineering Applications, 2013
- X. Liang, H. Wang, Y. Liu, W. Chen and T. Liu, "Formation Control of Nonholonomic Mobile Robots Without Position and Velocity Measurements," in IEEE Transactions on Robotics, vol. 34, no. 2, pp. 434-446, April 2018, doi: 10.1109/TRO.2017.2776304.
- X. Zhang, X. Yu, J. Lu and W. Lan, "Distributed Leader-following Formation Control for Mobile Robots with Unknown Amplitudes of Leader's Velocity," 2020 39th Chinese Control Conference (CCC), Shenyang, China, 2020, pp. 4889-4894, doi: 10.23919/CCC50068.2020.9188817.
- Z. Qiao, J. Zhang, X. Qu and J. Xiong, "Dynamic Self-Organizing Leader-Follower Control in a Swarm Mobile Robots System Under Limited Communication," in IEEE 2020 Access, vol. 8, pp. 53850-53856, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2980778.



# The Characterisation of an Alpha Spectrometry System using a Certificated Standard Source

Nurgül Hafizoğlu<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul University, Faculty of Science, Department of Physics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0869-070X), [nurgulhafizoglu@istanbul.edu.tr](mailto:nurgulhafizoglu@istanbul.edu.tr)

(First received 07 August 2021 and in final form 25 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.979887)

**ATIF/REFERENCE:** Tarım, U.A. & Gürlü, 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*, (31), 928-932.

## Abstract

The calibration parameters of a high resolution two-chamber alpha spectrometer dedicated to detect alpha radiation in environmental samples were evaluated and confirmed using a certified standard source containing <sup>237</sup>Np, <sup>241</sup>Am and <sup>244</sup>Cm nuclides. The resolution and efficiency characteristics for the two ion-implanted solid state detectors (ULTRA AS series) in this system were evaluated at all possible detector-source distances. The characteristics related to the performance of alpha detectors against the alpha radiation emitted from the standard source used in the measurements and the results obtained were compared in detail.

**Keywords:** Alpha spectrometry, Energy and efficiency calibration, FWHM, Self-absorption.

## Sertifikalı Standart Kaynak Kullanılarak Alfa Spektrometre Sisteminin Karakterizasyonu

### Öz

Çevresel numunelerdeki alfa radyasyonunu tespit etmek için yüksek çözünürlüklü iki odacıklı bir alfa spektrometresinin kalibrasyon parametreleri, <sup>237</sup>Np, <sup>241</sup>Am ve <sup>244</sup>Cm çekirdeklerini içeren sertifikalı bir standart kaynak kullanılarak değerlendirilmiştir ve doğrulanmıştır. Bu sistemdeki iki adet iyon implanteli katı hal dedektörünün (ULTRA AS serisi) çözünürlük ve verim özellikleri, olası tüm dedektör-kaynak mesafelerinde değerlendirilmiştir. Ölçümlerde kullanılan standart kaynaktan yayılan alfa radyasyonuna karşı alfa dedektörlerinin performansına ilişkin özellikler ve elde edilen sonuçlar detaylı olarak karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Alfa spektrometresi, Enerji ve verim kalibrasyonu, FWHM, Self-absorption.

\* Corresponding Author: [nurgulhafizoglu@istanbul.edu.tr](mailto:nurgulhafizoglu@istanbul.edu.tr)

## 1. Introduction

Alpha spectrometry is an analytical measurement technique, that is widely used in many applications such as nuclear decay measurements, geological studies,  $^{210}\text{Pb}$  analysis to determine sedimentation rate, the high sensitivity detection of alpha emitting particle radionuclides in environmental samples (sediment, soil, food products etc.) and in biological samples (marine products etc.) (Aggarwal, 2016; Calin et al., 2013a).

Alpha detectors have low background and high efficiency. These features mean that they have higher sensitivity for detecting radionuclides than high purity Ge detectors used to detect gamma rays. These properties ensure that samples with low levels of radioactivity can be detected correctly in various applications (Saidoua et al., 2008).

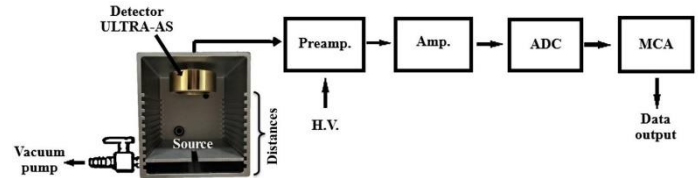
The alpha spectrometer system described here is based on Ion implanted charged particle detectors. They are made by bombarding semiconductor crystals with ions from an accelerator. This process is called ion implantation (Cember and Johnson, 2009; Johansson, 2008; Knoll, 2000; Leo, 1994). Ions are implanted in both the entrance window and the back contact of the detectors. This has the following advantages. The extremely thin (about 500 Å) entrance windows are implanted with boron ions. This minimises the energy straggling of the alpha particles entering the detector and thus improves the resolution of the ion implanted charged particle detectors. In addition, the window, which is resistant to mechanical effects, can be easily cleaned in the case of contamination (Vajda et al., 2020; ORTEC, Certificate of Conformance Quality Assurance Data (QAD) Sheet). The energies of the alpha particles are completely absorbed by the detector and ion pairs are produced with an amplitude proportional to the absorbed energy. Additionally, the detector chamber and the sample are kept under high vacuum to prevent the loss of alpha particle energy in interactions with atoms in the air. The energies of the alpha particles can be measured if the detectors are calibrated using suitable sources of radionuclides that emit alpha particles of known energy (Calin et al., 2013a; Knoll, 2000; Vajda et al., 2020).

The aim of this study is to characterise the alpha detectors in the Nuclear Physics Research Laboratory of İstanbul University and evaluate the performance of the system by applying appropriate methods for their calibration.

## 2. Material and Method

The alpha spectrometer is used for the measurement of alpha radiation from environmental and biological samples (Carvalho, 2011; Hafizoğlu et al., 2020; Kim et al., 2017). The system is composed of two counting chambers (Alpha Duo, ORTEC), each one containing on ion-implanted charged particle detector, which take measurements independently. Each detector has its own electronics, multi-channel analyser and vacuum pump (ALPHA-MINI-PPS). The detectors are of the ULTRA AS, BU-020-450-AS model, with an active area of 450 mm<sup>2</sup> (ORTEC, Certificate of Conformance Quality Assurance Data (QAD) Sheet). Figure 1 shows the block diagram of the single detector system. The detectors have an applied operating voltage of 50 V and measure particles over an energy range of 0 – 10 MeV. The energy resolution (FWHM) of the ion-implanted detectors is guaranteed by the manufacturer to be  $\leq 20$  keV for

alphas of 5.486 MeV energy when the distance between the detector and the source is equal to the detector diameter. The maximum sample size is 51 mm and in each counting chamber the detector-source separation can be set at 10 distances from 1 to 41 mm. The vacuum functions, hardware controls, data acquisition settings, detector voltage and leakage current parameters of each counting chamber can be controlled independently with MAESTRO® MCA software (ORTEC, 2014).



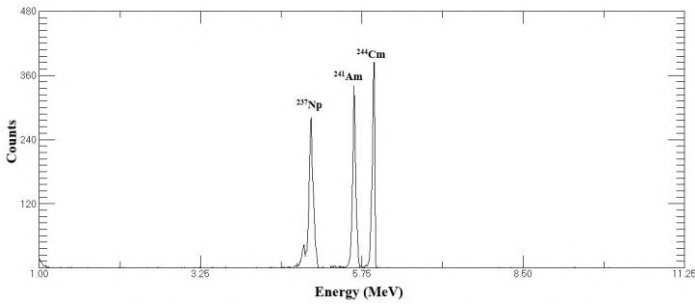
**Fig 1.** Schematic illustration of the alpha spectroscopy system with one chamber as an example. All possible detector-source distances can be seen.

All of the measurements were made with a certified standard alpha source. It was a multi-nuclide standard (Eckert & Ziegler Isotope Products) source containing the radioactive nuclides of  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{241}\text{Am}$  and  $^{244}\text{Cm}$  that emit alpha particles with energies 4.79, 5.49 and 5.81 MeV respectively (Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH., 2016). The source takes the form of a stainless steel disc with the radionuclides deposited in the centre of one surface. The disc has a thickness of 0.5 mm and diameter of 25 mm. The radioactive material is deposited in a circle of 7 mm diameter at the centre of the disc. The activities of the  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{241}\text{Am}$  and  $^{244}\text{Cm}$  nuclides in the standard alpha source at the time of the experiments were approximately 150 Bq, 100 Bq and 100 Bq, respectively, based on the activities at the time of manufacture and known half lives of the three nuclear species involved (Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH., 2009; Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH., 2016). If the diameter of the source is larger than that of the detector then the efficiency is reduced because of greater energy straggling in the detector window (CANBERRA, 2011). Accordingly, the diameter of the standard alpha source has been chosen equal to the detector diameter. As the source thickness increases, the greater the self-absorption of alpha radiation. As a result the broadening of the peaks means poorer energy resolution and the tailing increases (Vajda et al., 2020). Thus a standard alpha source that was homogeneous and thin was obtained from the manufacturer to reduce these effects. The ULTRA AS alpha detectors were calibrated in energy using the known energies of the three radionuclides in the alpha standard source. In order to determine the efficiency and resolution parameters of the two detectors in the system a series of measurements, each 100 seconds long were taken with the standard source at all possible detector-source distances within the counting chambers. Figure 2 shows an example of a spectrum from detector one.

From the spectra, the efficiency of each detector was calculated by dividing the measured counts per second by the known number of alpha decays per second for each detector-source distance. Similarly the energy resolution of the detector was determined by calculating the full width at half maximum (FWHM) of the peaks.

Depending on the results, the detector-source distances with the best energy resolution and efficiency that we consider as optimum were determined for two counting chambers. These

distances have also greatest sensitivity to the detection of alphas emitted from a low-activity source. Additionally, the variations of solid angles according to all possible the detector-source distances were determined by considering the geometries of both detectors and standard source.

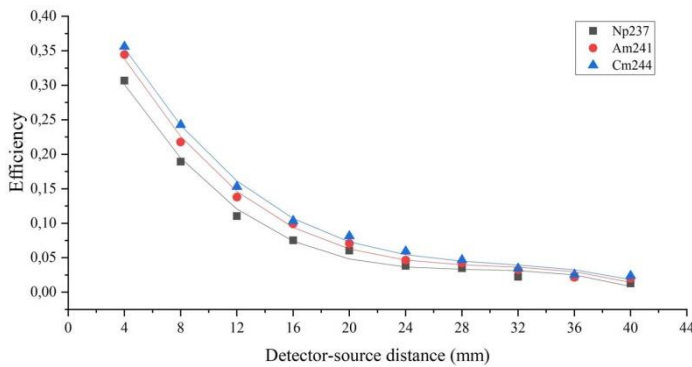


**Fig 2.** An example of the alpha particle spectrum from the certified standard source seen in the first detector. One can see clearly the peaks induced by the known alpha particles from <sup>237</sup>Np, <sup>241</sup>Am and <sup>244</sup>Cm at 4.79, 5.49 and 5.81 MeV, respectively. This spectrum was recorded at a detector-source distance of 8 mm and was used to determine the efficiency and energy resolution of the alpha spectroscopy system at that setting. The dead time effects in all measurements was quite low.

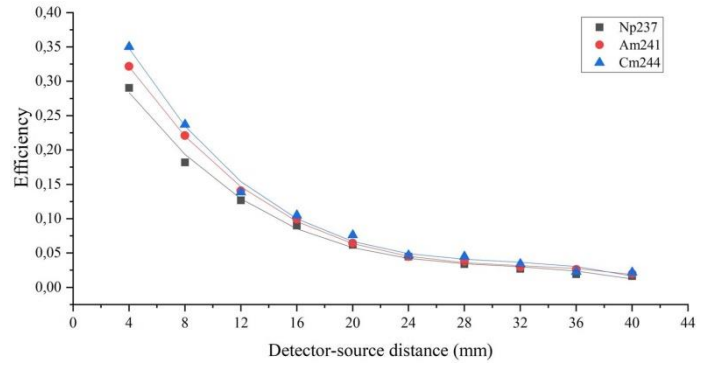
### 3. Results and Discussion

#### 3.1. The Determination of the Alpha Detector Efficiency

The detector efficiencies based on the measurements taken with the standard disc source at all possible detector-source distances in the two counting chambers in the alpha spectroscopy system are presented in Figures 3 and 4. These results were fitted to the function  $y = ax^{-b}$  and the fitting parameters a and b were determined.

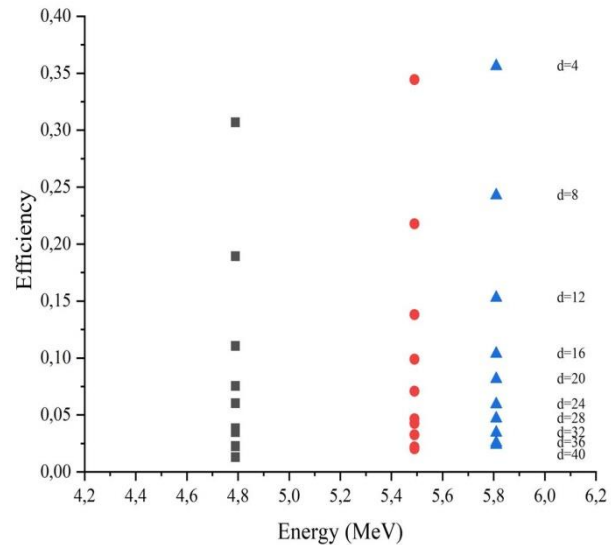


**Fig 3.** The efficiency of the first counting chamber based on measurements with the standard alpha source is shown as a function of detector-source distance (see text). The separate curves are for alpha particles from the three radionuclides in the source (see text).



**Fig 4.** The efficiency of the second counting chamber based on measurements with the standard alpha source is shown as a function of detector-source distance (see text). The separate curves are for alpha particles from the three radionuclides in the source (see text).

In the efficiency curves shown in Figures 3 and 4 one sees that the three curves for alphas with different initial energies separate more rapidly as the detector-source decreases. This is essentially a geometrical effect due to the increase in the number of alpha particles passing through a greater thickness in the window and the resulting increase in the straggling effect. Conversely constant efficiency is nearly reached for the higher detector-source distances. As a result of these measurements and calculations, the detector-source distances with the best efficiency values were determined for both alpha detectors.



**Fig 5.** The measured efficiencies at different detector-source distances for alpha particles of the three different energies of particles from the standard source (see text). The black, red and blue colours represent the radionuclides of <sup>237</sup>Np (4.79MeV), <sup>241</sup>Am (5.49 MeV) and <sup>244</sup>Cm (5.81 MeV), respectively. The straggling effects due the changing geometry are clearly visible.

The same information about the measured efficiency is shown in Figure 5, where we see that the detector efficiency depends on the measurement geometry and the detector-source distances (Calin et al., 2013b). Therefore, it is concluded that the detector-source distance should be as small as possible in order to obtain high measurement efficiency. The maximum efficiency values of ULTRA AS, BU-020-450-AS model alpha detectors in the first and second counting chambers of the alpha spectroscopy system for the <sup>241</sup>Am radionuclide are 0.344 and 0.322, respectively.



### 3.2. The Determination of the Resolution of the Alpha Detector

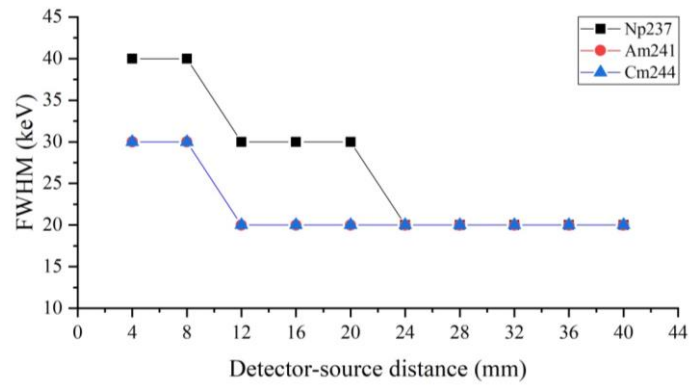
Energy resolution is one of the most fundamental parameters in detectors designed to detect the energy of the incident radiation. It is this parameter that determines how readily one can distinguish peaks with similar energies in a spectrum. Generally, the resolution is defined as the FWHM of the peak at a certain energy in the spectrum (AMETEK Materials Analysis Division, Lecture Notes; Leo, 1994).

The FWHM is required for the energy resolution evaluation of an alpha spectroscopy system and is dependent on the statistical fluctuation in the number of the electron-hole pairs produced in the detector, the charge collection and the energy losses of the particles in the thickness of the detector entrance window that they pass through. It also depends on the properties of the alpha-particle source (Vajda et al., 2020).

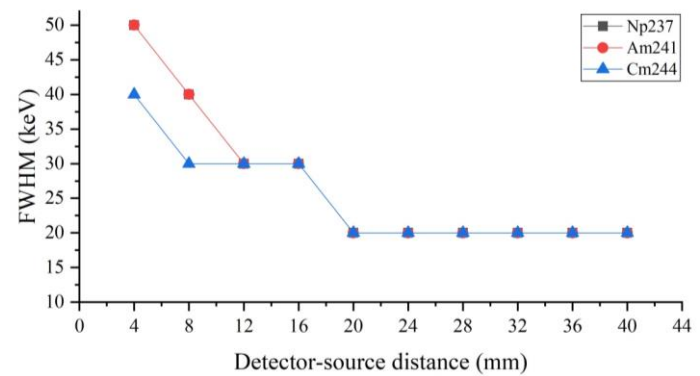
The thickness of the detector entrance window is an important parameter that dictates the straggling effect on the alpha particles and hence determines the energy resolution. This effect on the detector resolution is especially significant in thick detector windows and when the particle enters the window at a shallow angle. Hence the problem when the source is close to the detector or is much larger than the detector surface. If the entrance window of the detector is as thin as possible, the energy loss of alpha particles in the window is reduced and high resolution can be achieved (Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH., 2009; Vajda et al., 2020). ORTEC, ULTRA AS, BU-020-450-AS model detectors in the alpha spectrometer have entrance windows of 500 Å (~ 50 nm) thickness (ORTEC, Certificate of Conformance Quality Assurance Data (QAD) Sheet).

Also, the detector-source distance and geometry are parameters that affect the detector resolution. The average of alpha particles entering the detector will increase at distances where the source is close to the detector. Again it is because some of the alpha particles have a larger path in the source hence straggling increases. Therefore, higher energy straggling and an increase in FWHM values directly associated with detector resolution are expected (CANBERRA, 2011).

ORTEC, ULTRA AS alpha detectors are characterized by examining the pulse height distributions obtained from the standard disc source with  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{241}\text{Am}$  and  $^{244}\text{Cm}$  nuclides. At the same time, the energy calibrations of the detectors were carried out with the certified standard disc source. From the spectra obtained at all detector-source distances in two counting chambers, the FWHM values representing the separation of close energy peaks were determined.



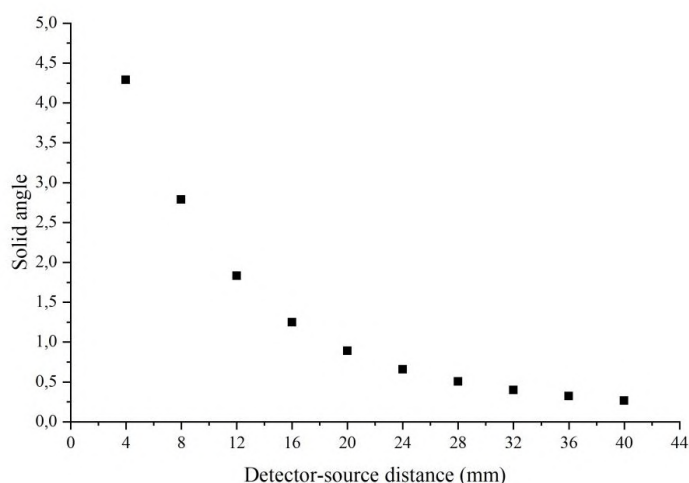
**Fig 6.** The measured FWHM for the alpha particles from  $^{237}\text{Np}$  (4.79 MeV),  $^{241}\text{Am}$  (5.49 MeV) and  $^{244}\text{Cm}$  (5.81 MeV) nuclides in the detector the 1<sup>st</sup> counting chamber in the alpha spectrometry system.



**Fig 7.** The measured FWHM for the alpha particles from  $^{237}\text{Np}$  (4.79 MeV),  $^{241}\text{Am}$  (5.49 MeV) and  $^{244}\text{Cm}$  (5.81 MeV) nuclides in the detector the 2<sup>nd</sup> counting chamber in the alpha spectrometry system.

The measured FWHM values, or in other words the energy resolution, as a function of detector-source distance for both counting chambers are shown in Figures 6 and 7. It can be seen that for distances  $\geq 20$  mm the FWHM values are constant and increase significantly at shorter distances.

The energy resolution of the detector of 20 keV (5.486 MeV for  $^{241}\text{Am}$  nuclei) guaranteed by the manufacturer is observed at larger detector-source distances. At shorter distances the geometry results in greater energy straggling and hence poorer resolution.



**Fig 8.** The variation of the detector solid angle according to the detector-source distances.

The best resolution for the ULTRA AS detectors in the alpha spectrometer system were obtained under the conditions where there is minimum energy straggling. This occurs for detector-source distances consistent small solid angle values that lead to the detection of alpha particles emitted perpendicularly to the standard source and impinging on the detector surface at angles closer to 90° on average.

The solid angle values for the two ULTRA AS detectors in the system for all detector-source distances in the range of 4-40 mm are shown in Figure 8.

## 4. Conclusions and Recommendations

In this work measurements were made of alpha particle spectra from a standard source to allow us to characterise the two-counting-chamber alpha spectroscopy system (Alpha Duo, ORTEC). The measurements allowed us to determine the main parameters such as the efficiency and resolution of 2 ULTRA AS detectors. From the results we were able to calibrate the system according to these parameters and to determine the solid angle parameter according to the detector-source distances. These parameters that determine the efficiency and resolution are optimum detector-source geometry, peak shape, radionuclide energy and counting rate etc in studies with alpha spectroscopy.

The results of the measurements show that the efficiency and energy calibrations of the alpha spectrometer system at the Nuclear Physics Research Laboratory of Istanbul University has been determined reliably. This ensures that any measurements are repeatable and that accurate measurements can be carried out with the system in the future.

## 5. Acknowledge

I sincerely thank my advisor Prof. Latife ŞAHİN YALÇIN and Prof. Ela GANİOĞLU NUTKU for their valuable support and contributions.

## References

Aggarwal, S.K. (2016). Alpha-particle spectrometry for the determination of alpha emitting isotopes in nuclear, environmental and biological samples: past, present and future. *Analytical Methods*, 8, 5353–5371.

- AMETEK Materials Analysis Division, Lecture Notes, Understanding Energy Resolution, USA.
- Calin, M.R., Saizu, M.A., Radulescu, I. (2013a). Assessments on energy and efficiency calibration of an alpha spectrometry system using standard sources. *J Radioanal Nucl Chem*, 298, 55–60.
- Calin, M.R., Saizu, M.A., Radulescu, I., Druker, A.E. (2013b). Experimental characterization of a multi-chamber alpha spectrometry system using standard actinide sources. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*. 705, 13-16.
- CANBERRA, Application Note. (2011). Considerations for Choosing an Alpha Spectroscopy PIPS Detector.
- Carvalho, F.P. (2011). Polonium ( $^{210}\text{Po}$ ) and lead ( $^{210}\text{Pb}$ ) in marine organisms and their transfer in marine food chains. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102, 462–472.
- Cember, H. and Johnson, T. (2009). Introduction to health physics, 4<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill Companies Inc. New York, USA, ISBN: 978-0-07-142308-3.
- Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH. (2009). Calibration Standards and Instruments Product Information. Germany.
- Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH. (2016). Certificate. Germany.
- Hafizoğlu, N., Sahin, L., Ganioglu, E., Ağgez, G., Yıldırım Baştemur, G., İsel, P. (2020). Assessment of Natural and Anthropogenic Radioactivity of the Princes' Islands in the Sea of Marmara. *Water Air Soil Pollut*, 231:261, 1-16.
- Johansson, L. (2008). Determination of Pb-210 and Po-210 in aqueous environmental samples, Thesis (PhD), Leibniz University.
- Kim, S.H., Hong, G.H., Lee, H.M., Cho, B.E. (2017).  $^{210}\text{Po}$  in the marine biota of Korean coastal waters and the effective dose from seafood consumption. *Journal of Environmental Radioactivity*, 174, 30–37.
- Knoll, G. (2000). Radiation detection and measurement, 3<sup>rd</sup> ed. John Wiley & Sons Inc. New York, USA.
- Leo, W.R. (1994). Techniques for nuclear and particle physics experiments, 2<sup>nd</sup> ed. Springer-Verlag, Germany, ISBN: 3-540-57280-5.
- ORTEC. (2014). Alpha Duo, Alpha Mega and Alpha Ensemble Integrated Alpha Spectrometer Hardware User's Manual. U.S.A., 932505.
- ORTEC, Certificate of Conformance Quality Assurance Data (QAD) Sheet, ULTRA™, ENS-Detectors, Oak Ridge.
- Saidoua, Bochud, F., Laedermann, J-P., Kwato Njock, M.G., Froidevaux, P. (2008). A comparison of alpha and gamma spectrometry for environmental natural radioactivity surveys. *Applied Radiation and Isotopes*, 66, 215–222.
- Vajda, N., Pöllänen, R., Martin, P., Kim, C.K. (2020). Handbook of radioactivity analysis, fourth ed. Volume 1: Radiation Physics and Detectors, Chapter 5-Alpha Spectrometry, pp. 493-573. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814397-1.00005-4>.



# Kompozit Yüzey Plakalı ve Alüminyum Çekirdekli Sandviç Levhaların Balistik Performanslarının Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi ile İncelenmesi

Murat Yazıcı<sup>1</sup>, Yalçın Boztoprak<sup>2\*</sup>, Saime Uygun<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8720-7594)

<sup>2</sup> Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1714-7394)

<sup>3</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3784-3717)

(İlk Geliş Tarihi 23 Eylül 2021 ve Kabul Tarihi 12 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.999576)

**ATIF/REFERENCE:** Yazıcı, M., Boztoprak, Y. & Uygun, S. (2021). Kompozit Yüzey Plakalı ve Alüminyum Çekirdekli Sandviç Levhaların Balistik Performanslarının Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi ile İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 933-942.

## Öz

Bu çalışmada ön ve arka kısımları kompozit yüzey plakalı sandviç bir levhanın balistik özellikleri sayısal analizler ile incelenmiştir. Tasarlanan balistik koruyucu malzeme ön ve arka plakaları karbon-aramid takviyeli epoksi kompozit malzemenin, çekirdek ise yüksek plastik şekil değiştirme özelliği ve hafif olması nedeniyle alüminyum (Al5083 H116) plakadan oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen bu tasarımda amaç; kompozit malzemenin enerji sönümleme mekanizmalarını kullanarak ön kompozit plakada mermi enerjisinin düşürülmesi, orta alüminyum plakanın plastik deformasyon, sürtünme kabiliyetinden yararlanma ve arka kompozit plakada ise merminin nihai enerjisinin yayılarak tamamen yok edilmesi şeklindedir. Öncelikle mermi hareketi, hesaplamalı akışkanlar analizleri (CFD) ile incelenmiştir. CFD yardımıyla namlu ucundan 5 m uzaktaki hedef plaka yüzeyine temas hızı hava sürtünmesi dikkate alınarak yeniden hesaplanmıştır. Mach sayısına göre değişen direnç katsayısı değerleri incelendiğinde CFD analizleri ile elde edilen sonuçlara göre 5 m mesafeden yapılan bir atışta, namludan çıkan mermi çıkış hızı ile koruyucu malzeme yüzeyine mermi temas hızı arasındaki hava sürtünmesinden kaynaklanan azalma ihmal edilebilir. Bu çalışmada, kompozit plakaların ilavesi ile balistik özellikleri artırılmış kompozit-metal hibrit çok katmanlı sandviç levhanın balistik performansları, NIJ 0108.01 standardı test prosedürüne göre LS DYNA® yazılımı ile dinamik/eksplisit analizler gerçekleştirilerek nümerik olarak incelenmiştir. Mermi olarak 9x19 mm 8 gram ağırlığındaki Parabellum FMJ (Full Metal Jacket) fişek seçilmiş ve farklı mermi hızlarında analizler gerçekleştirilmiştir. Kompozit plaka için malzeme kartı olarak MAT 22 malzeme kartı uygulanırken, hasar modeli olarak MAT59 kartı kullanılmıştır. Merminin herhangi bir deformasyona uğramayıp malzeme üzerinde meydana getirdiği hasarı gözlemlemek amacıyla mermi çekirdeği malzemesi için MAT 20 (MAT\_RIGID) malzeme modeli kullanılmış ve çelik malzeme tanımı yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda tasarlanan kompozit plakalı sandviç panelin NIJ II-A ve NIJ II standardına göre mermi tarafından delinmediği ve balistik koruyucu malzeme olabileceği gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sonlu Elemanlar Analizi, Balistik Koruma, karbon-aramid/epoksi kompozit, kompozit-metal hibrit sandviç yapı

## Investigation of Ballistic Performance of Composite Sandwich Plates with Aluminum Core by Finite Element Analysis Method

### Abstract

The numerical analysis of the ballistic properties of a sandwich plate with composite surface sheets on the front and back was used in this study. The front and back sheets of the designed ballistic protective material are made of carbon-aramid reinforced epoxy composite material, while the core is made of aluminum (Al5083 H116) plate, which has a high plastic deformation and is lightweight. The aim of this design is; The aim is to reduce the bullet energy in the front composite plate by using the energy absorption mechanisms of the composite material, to benefit from the plastic deformation and friction ability of the middle aluminum plate, and to completely destroy the final energy of the bullet by spreading in the rear composite plate. First of all, the projectile motion was investigated by computational fluid dynamics (CFD). With the help of CFD, the contact velocity with the target plate surface 5 m away from the muzzle was recalculated considering the air drag. When the drag coefficient values varying according to the Mach number are examined, according to the results obtained by CFD analysis, the decrease caused by the air friction between the bullet exit velocity from the barrel and the

\* Sorumlu Yazar: Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1714-7394, yboztoprak@marmara.edu.tr

bullet contact speed with the protective material surface can be neglected in a shot made from a distance of 5 m. In this study, the ballistic performances of composite-metal hybrid multi-layer sandwich plate with increased ballistic properties by adding composite plates were numerically investigated by performing dynamic/explicit analyses with LS DYNA® software according to the NIJ 0108.01 procedure. The bullet was selected from the Parabellum FMJ (Full Metal Jacket) cartridge, which measures 9x19 mm and weighs 8 grams, and analyses were conducted at various bullet velocities. While the MAT 22 material card was used as the material card for the composite plate, the MAT59 damage model was used. The bullet's material was modeled using the MAT 20 (MAT RIGID) material model, and a steel material definition was created to evaluate the developed composite-metal hybrid laminated sandwich panel's damage as a ballistic protective material. The simulations demonstrate that the designed composite-metal hybrid laminated sandwich panel cannot be pierced by a bullet in accordance with the NIJ II-A and NIJ II standards and thus can be used as a ballistic protective material.

**Keywords:** Finite Element Analysis, Ballistic Protection, carbon-aramid/epoxy composite, composite-metal hybrid sandwich structure

## 1. Giriş

Patlama dalgaları ve mühimmat patlamasının ürettiği enkaz dahil olmak üzere ilgili parçalanma, askeri operasyon ortamlarında yüksek zayıt vermeye devam ediyor. Son birkaç on yılda, malzeme ve sistemlerin patlama dalgası ve mermi etkilerine karşı koruyucu performansı üzerine araştırmalar yapılmıştır (Tan, 2013).

Mühimmat tehditlerinin sürekli olarak gelişip çeşitlenmesi, zırhlı araç teknolojisinin ve personel koruma sistemlerinin bu ilerleme karşısında başarılı olabilmesi için geliştirme çalışmalarını zorunlu kılmıştır. Günümüzde zırhlı araçlar, içerisindeki personeli korurken araç performansını olumsuz etkilemeyecek hafif ve mukavim gelişmiş zırh sistemlerine ihtiyaç vardır. Yine kişisel koruyucu ekipman tasarımında da hedeflenen koruma sağlanırken personeli yavaşlatmayacak ve hareketini kısıtlamayacak kişisel zırh sistemleri gereksinimi dikkate alınmaktadır (Oliveira vd., 2021; Reis vd., 2021) Bu gereksinimlerin karşılanması adına mukavemet özelliklerinden ödün vermeden daha hafif malzemelerin kullanılması zorunlu hale gelmiştir.

Kompozit malzemeler; farklı malzemelerin kendine has üstün özelliklerinin bir araya getirilip tek başına kullanılan malzemelerden daha üstün yeni bir yapı oluşturulmasına olanak verir. Hafiflik ve mukavemetin önemli olduğu, birbirine tezat fonksiyonları yerine getirmesi beklenen komponentlerde kompozit malzemelerin kullanımı önemlidir ve yaygındır. Özellikle hafifliğin ön planda tutulduğu havacılık ve otomotiv sektöründe, personel ve araç zırhı geliştirilmesi açısından savunma sanayisinde sıklıkla tercih edilirler ve kullanım alanlarını genişletmek için çalışmalar sürdürülmektedir (Bitlisli ve Yazıcı, 2019).

Yanen ve Solmaz, tabakalı hibrit kompozitlerin bireysel zırh malzemesi olarak kullanılabilirliğini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışma kapsamında farklı fiber takviye açılarına, farklı tabaka sayılarına ve farklı kalınlıklara sahip cam fiber/aramid fiber/karbon fiber tabakalı kompozit plakaların balistik deneyleri yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. Bu amaçla 200x200mm boyutlarındaki 30 tabakalı farklı kalınlıkta 4 adet plaka, elle yatırma yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Farklı fiber takviye açılarının balistik performansının incelenmesi için 0°, 45°, plain dokuma ve twill örgü kumaşlar kullanılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde balistik testlerde en başarılı olan numunenin en ağır ve en kalın numune olan [Cam(45°)<sub>10</sub>/Aramid(Plain)<sub>10</sub>/Karbon(45°)<sub>10</sub>] dizilimine sahip numunenin değil, [Cam(Twill)<sub>10</sub>/Aramid(Plain)<sub>10</sub>/Karbon(Twill)<sub>10</sub>] dizilimli olan numune olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar neticesinde twill dokuma yapısına sahip kumaşların balistik dayanımının daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır (Yanen ve Solmaz, 2015)

Sabah (2018), zırhlı araçlarda patlama ve balistik saldırılar sonucunda araç içinde meydana gelen parçaçık saçılmalarını azaltmaya ve tutmaya yönelik olarak kullanılabilecek çelik tel örgü takviyeli ve takviyesiz aramid kompozit tabakaların üretimi ve balistik performanslarının deneysel olarak incelenmesi üzerine çalışmıştır. Vakum infüzyon yöntemiyle başarıyla gerçekleştirilen tabaka üretimlerinde balistik özellikleri ile ön plana çıkan Twaron T750 aramid kumaşı kullanılmıştır. Çelik tel örgü takviyesi olarak ise mesh tipi ve tel çapları farklı olan iki farklı tipte AISI 304 kalite tel örgü kullanılmıştır. Testler, balistik test laboratuvar ortamında MIL-STD-662F V50 ve STANAG 2920 standartlarında yapılmıştır. Testlerde öncelikle tel örgü içermeyen numunenin, ardından tel örgü içeren 3 farklı numunenin V50 balistik hız limitleri bulunarak enerji sönümlenme kapasiteleri hesaplanmıştır. Sonuçta çelik tel örgü takviyesi içermeyen numune 1'in enerji sönümlenme kapasitesi, üretilen tabaka bazında 107,01 j, alansal yoğunluğa göre ise 16,59 jm<sup>2</sup>/kg olarak bulunmuştur. Tabaka bazında 168,89 j ile en iyi 2. balistik dayanıma sahip olduğunu gösteren numune 2, aynı zamanda alansal yoğunluğa göre de 18,65 jm<sup>2</sup>/kg ile en iyi balistik performansı sergilemiştir. Tabaka bazında 180,11 j ile en iyi balistik dayanıma sahip olan numune 3 ise alansal yoğunluğuna göre 15,78 jm<sup>2</sup>/kg ile en kötü performansı göstermiştir. Numune 4 ise numune 2'ye yakın özellikler göstermiştir. Böylece çelik tel örgü takviyesinin balistik dayanım özelliklerine etkileri ortaya konulmuştur (Sabah, 2018).

Berk (2014), yürüttüğü çalışmada yüksek hızda darbe uygulamalarında takviye tipinin etkisini ve farklı nümerik kompozit hasar modellerini incelemiştir. Kompozit plakalarda aramid/epoksi ve karbon-aramid/epoksi kompozitler çalışılmıştır. Enerji sönümlenme mekanizmaları hem deneysel hem de nümerik yöntemlerle, her iki kompozit malzeme için 6 farklı mermi hızı kullanılmıştır. Nümerik çalışmada ANSYS yazılımı ön işlemleri olarak, LS-DYNA® ise çözücü olarak kullanılmış ve LS DYNA® üzerinden yapılan modellemede kompozit malzemeler için MAT 22 (Mat\_Composite\_Damage) ve MAT 59 (Mat\_Composite\_Failure\_Solid\_Model) olmak üzere 2 farklı malzeme modeli ile simülasyon gerçekleştirildiği görülmektedir. Tabakalı kompozit modeli ve MAT 22, tabakalı kompozit modeli ve MAT 59 ve tek tabakalı kompozit modeli ve MAT 59 şeklinde 3 farklı nümerik modelin analiz edildiği bir çalışmadır. Kompozit malzeme içerisinde kullanılan kumaş takviyelerin örgü yapısından dolayı basitleştirilmiş bir model olarak, katmanlardan oluştuğu kabul edilmiş ve delaminasyon modellenmesi için kompozit tabakalar arasında ayrılma özelliğine sahip kontak mekanizması tanımlandığı görülmektedir. Balistik limit hız açısından tabakalı kompozitlerin daha iyi sonuç verdiği ve limit hızı artırdığı gözlemlenmiştir. Karbon-aramid/ epoksi kompozitler için tabakalı modellemede en yüksek 2 mermi hızında MAT 22 malzeme modeli daha iyi sonuç verirken, en düşük 2 hız için MAT 59 malzeme kartının daha iyi sonuç verdiği



anlaşılmaktadır. Nümerik ve deneysel çalışma arasında iyi bir uyum yakalanmıştır (Berk, 2014).

Yapılan bir çalışmada çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) ve cam baloncuk dolgu maddeleri ile sönümleme özellikleri geliştirilmiş iki farklı kauçuk karışımının cam bilyeler ile takviye edilerek yapısal mukavemeti yüksek AA7075-T651 alüminyum levhalar arasında kürlenmesiyle elde edilen koruyucu zırh levhalarının (KZL) balistik davranışı incelenmiştir. Bu çalışmada iki farklı sönümleme özelliğine sahip kauçuk matris malzemesi kullanılarak 27, 30 ve 35 mm yüksekliklerinde toplam 6 adet KZL hazırlanmıştır. Çok duvarlı karbon nanotüplerle hazırlanan KZL'lerin balistik performansının cam baloncuklarla hazırlananlara göre daha iyi olduğu belirlenmiştir. MWCNT'lerin üstün mekanik özellikleri ve yüksek en boy oranı sayesinde, hazırlanan sönümleme kauçuk matrislerin penetrasyon ve şişme yüksekliklerinde cam baloncuklara kıyasla mükemmel sonuçlar elde edildiği anlaşılmaktadır. MWCNT'ler ile hazırlanan KZL'lerin kalınlığının artmasıyla merminin ön ve arka yüzeylerde oluşturduğu penetrasyon derinliği ve çıkıntı yüksekliğinin deformasyon etkisi azalmıştır. KZL kalınlığı 27 mm'den 35 mm'ye yükseldikçe penetrasyon derinliği %38, çıkıntı yüksekliği ise %35 azaldığı görülmektedir. Cam baloncuklarla dolgu kauçuk kullanılarak KZL'lerde penetrasyon ve şişme miktarı arttı. Plaka kalınlığı arttıkça sönümleme özelliği azaldı ve cam bilyeler aktive olduğu için merminin KZL içerisinde tamamen durdurulduğu görülmüştür (Kasım, 2021).

Kişisel koruma uygulamaları amacıyla geliştirilmiş yumuşak köpük ve hava boşluğu sistemlerinin değerlendirilmesi için Ouellet ve diğerleri tarafından bir patlama odası testi yapılmıştır. Hava boşluğu üzerinde sert bir malzeme ve sıkıştırılabilir bir köpük veya sert bir levhadan oluşan bir istifleme kullanılarak aşırı patlama basıncının azaltılabileceğini belirtmişlerdir (Ouellet, S. vd, 2008).

Bir başka çalışma ise alüminyum-kauçuk kompozit levhanın darbe yüklemesi altındaki performansını araştırmayı amaçlamaktadır. Plakanın darbe direnci hem deneysel hem de sayısal yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Deneysel testler, gaz tabancası kullanılarak 75, 101, 144 ve 168 m/s hızlarda gerçekleştirilmiştir. Kauçuk tabakanın, alüminyum levhanın ön yüzünde veya arka yüzünde konumlandırılmasının etkisini değerlendirmişlerdir. Ön yüzünde kauçuk olan kompozit plakanın enerjiyi emmek için daha yüksek performans sağladığı tespit edilmiştir. Deneye paralel olarak, alüminyum-kauçuk kompozit levhanın yüksek enerji oranlı yükleme koşulu altında tepkisini simüle etmek için sonlu eleman yazılımı LS-DYNA® kullanarak bir sonlu eleman modeli oluşturmuşlardır. Sonlu eleman modellemesinden elde edilen veriler, kırılma mekanizması ve enerji absorpsiyonu açısından deneysel sonuçlarla yakın bir uyum göstermiştir. Ayrıca farklı darbe hızları, kauçuk formülasyonu, kauçuk katman kalınlığı, kauçuk ve alüminyum katmanlar arasındaki ara yüzey bağlanma kuvveti ve alüminyum-kauçuk sandviç panelin balistik performansını içeren parametrik bir çalışma yapmışlardır. Kauçuk tabakanın kalınlığının artırılmasıyla, özellikle kauçuk tabaka alüminyum levhanın önüne yerleştirildiğinde kompozit levhanın enerji absorpsiyonunun artacağı sonucuna varmışlardır. Kauçuk ve alüminyum tabakanın arayüzey bağlanmasının yüksek olmasına rağmen ön yüzde kauçuk bulunan tabakalı kompozit daha iyi performansa sahiptir. Ancak arayüzey bağlanmasının zayıf olması durumunda arka yüz konfigürasyonunda daha yüksek enerji absorpsiyonuna yol açtığı görülmektedir (Khodadadi vd., 2020).

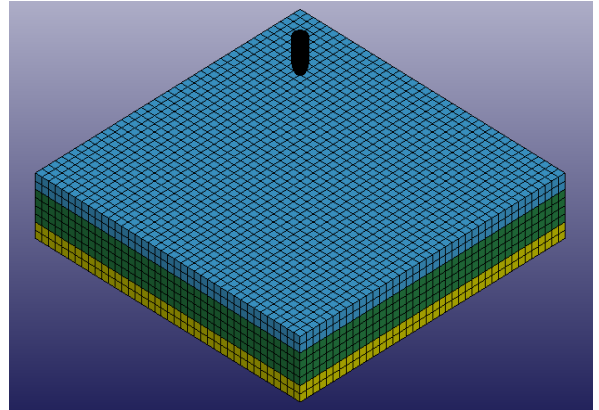
Karl ve arkadaşları, dinamik mekanik analiz ve zaman-sıcaklık süperpozisyon ilkesinden yararlanarak küçük kalibrelelere karşı balistik koruma için ideal bir malzeme geliştirmişlerdir. Bu malzemeyi balistik deneylerle analiz etmişler ve camsı geçiş sıcaklığı, sertlik ve sönüm açısından diğer ideal olmayan kauçuklarla karşılaştırmışlardır. Belirli camsı geçiş sıcaklığı ve sertliğe sahip bir malzemeyi doğru seçerek çelik-kauçuk-alüminyum zırhın balistik özelliklerinin geliştirilebileceğini göstermişlerdir. 50 ShA sertliğe sahip seçilen malzeme (bütil kauçuk), balistik çarpma sırasında enerji emilimini yaklaşık %8 oranında arttırmıştır. Bu sonuç, optimize edilmemiş özelliklere sahip diğer kauçuktan 2 kat daha iyi olduğu gösterilmiştir (Karl vd, 2020).

Sunulan bu çalışmada kompozit plakalar ile balistik özellikleri artırılmış alüminyum plaka çekirdekli sandwich levhanın balistik performansları, NIJ 0108.01 standardında belirtilen test değişkenleri ve performans gerekliliklerine göre LS DYNA® yazılımı ile nümerik olarak incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çok Katmanlı Plaka Tasarımı

Şekil 1'de görüldüğü gibi malzeme 3 katmandan oluşmaktadır. Alt ve üst tabakalar karbon-aramid/epoksi kompozitlerden oluşurken orta katman Al5083-H116 alüminyum alaşımı levhadan oluşmaktadır. Karbon-aramid/epoksi kompozitin modellenmesi için MAT\_COMPOSITE\_FAILURE\_SOLID\_MODEL (MAT 59) malzeme kartı kullanılmıştır. Al5083-H116 alüminyum alaşımı için ise MAT 15 Johnson Cook malzeme modeli tercih edilmiştir. Johnson-Cook tarafından tanımlanan malzeme modeli ve Johnson-Cook hasar modeli eşitlikleri Denklem (2.1 ve 2.2)'de verilmiştir.



Şekil 1. Katmanlı kompozit ve 9\*19 mm parabellum mermi çekirdeği

$$\sigma = [A + B\varepsilon^n] * \left[1 + C \ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)\right] * \left[1 - \left(\frac{T-T_0}{T_m-T_0}\right)^m\right] \quad (2.1)$$

$$\varepsilon_f = \left[D_1 + D_2 \exp\left(D_3 \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{eq}}\right)\right)\right] \left[1 + D_4 \frac{\dot{\varepsilon}_P}{\dot{\varepsilon}_0}\right] \left[1 + D_5 \frac{T-T_0}{T_m-T_0}\right] \quad (2.2)$$

Denklem (2.1)'de görülen **A** akma gerilmesi, **B** pekleşme modülü, **C** birim şekil değiştirme hızı sabiti, **n** pekleşme üstel katsayısı, **m** termal yumuşama üstel katsayısı olup malzemeye göre değişmektedir. Birçok farklı deneyin sonucunda belirtilen malzeme sabitleri ve değerleri tespit edilirler. Johnson-Cook malzeme modeli ampirik bir ifade olup malzemede oluşması beklenen gerilmeyi; akma gerilmesi, birim şekil değiştirme hızı ( $\dot{\epsilon}$ ) ve sıcaklığa bağlı (T) olarak ifade etmektedir. Denklemdeki ilk parantez içerisindeki ifade şekil değiştirme pekleşmesini, ikinci parantez içerisindeki ifade ise birim şekil değiştirme hızına bağlı pekleşmeyi ve son parantez ise sıcaklık değişiminin malzeme davranışı üzerindeki etkisini tanımlamaktadır (Deniz vd., 2010). Bu çalışmada kullanılan Al5083 H116 Alüminyum malzeme için gerekli malzeme sabitleri Tablo 1'de görülmekte olup literatürden temin edilmiştir (Rashed ve diğerleri, 2015).

Johnson-Cook hasar modeli de Denklem (2.2)'de görülmektedir.  $D_{1-5}$  hasar modeli sabitleridir. Kırılma gerinimi denkleminde  $\sigma_m$  ortalama gerilme,  $\sigma_{eq}$  ise eşdeğer gerilmeyi ifade eder. Hasar modeli denkleminin ilk kısmı, gerinimi gerilme üç eksenlilik oranının bir fonksiyonu olarak ifade ederken ikinci kısmı gerinim hızı etkilerini ve son kısım da sıcaklık etkilerini ifade eder (Deniz vd., 2002).

Tablo 1. Al5083 H116 Alüminyum malzeme için LS DYNA®, MAT 15 Johnson-Cook model parametreleri (Rashed ve diğerleri, 2015).

Parametre	Sembol ve Birim	Değer
Yoğunluk	RO (kg/m <sup>3</sup> )	2700
Kayma Modülü	G (Pa)	2.69 E10
Elastisite Modülü	E (Pa)	70 E9
Poisson Oranı	PR	0.3
Akma Gerilmesi	A (Pa)	1.67 E8
Pekleşme Modülü	B (Pa)	5.96 E8
Birim Şekil Değiştirme Hızı Sabiti	C	0.001
Termal Yumuşatma Üssü	m	0.859
Pekleşme Üssü	n	0.551
Erime Sıcaklığı	TM (K)	893
Oda Sıcaklığı	TR (K)	300
Referans Gerinim Oranı	EPSO (s <sup>-1</sup> )	1
Özgül Isı	CP(Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	910
Kesme Basıncı	PC (Pa)	-1.5 E9
Hasar Parametresi	D <sub>1</sub>	0.0261
Hasar Parametresi	D <sub>2</sub>	0.263
Hasar Parametresi	D <sub>3</sub>	-0.349
Hasar Parametresi	D <sub>4</sub>	0.247
Hasar Parametresi	D <sub>5</sub>	16.8
Hasar Esnasındaki Max Efektif gerinim	EFFEPS	2

Tablo 1'de görülen parametrelerin yanında bu malzeme modelinin kullanılabilmesi için hal denkleminin (EOS) ihtiyaç vardır. Bu nedenle EOS\_LINEAR\_POLYNOMIAL kartında Bulk Modülü değeri ( $C_1$ )  $5.83 \cdot 10^{10}$  girilerek hal denklemi tanımlanmış olur.

Alt ve üst katmandaki karbon-aramid/epoksi kompozitin modellenmesi için kullanılan MAT 59 malzeme kartı, kalın ortotropik kompozit yapıların darbe ve ezilme davranışlarının analizinde kullanılır. Bu model, katı elemanlarla çalışır. Bu model için hasar kriterleri denklem (2.3) ile denklem (2.10) arasındaki ifadeler ile verilmiştir (Korkut, 2017) (LSTC, 2007) (Park vd., 2012).

Fiber çekme ( $\sigma_{11} > 0$ ):

$$\frac{\sigma_{11}^2}{x_T^2} + \frac{\tau_{12}^2}{s_{12}^2} + \frac{\tau_{31}^2}{s_{31}^2} < 1 \quad (2.3)$$

Matris çekme (fiber çekme ile beraber) ( $\sigma_{22} > 0$ ):

$$\frac{\sigma_{22}^2}{y_T^2} + \frac{\tau_{12}^2}{s_{12}^2} + \frac{\tau_{23}^2}{s_{23}^2} < 1 \quad (2.4)$$

Kalınlık doğrultusunda kayma ( $\sigma_{11} > 0$ ):

$$\frac{\sigma_{11}^2}{x_T^2} + \frac{\tau_{31}^2}{s_{31}^2} < 1 \quad (2.5)$$

Kalınlık doğrultusunda çekme (delaminasyon) ( $\sigma_{33} > 0$ ):

$$\frac{\sigma_{33}^2}{z_T^2} + \frac{\tau_{23}^2}{s_{23}^2} + \frac{\tau_{31}^2}{s_{31}^2} < 1 \quad (2.6)$$

Kalınlık doğrultusunda kayma (matris çekme ile beraber) ( $\sigma_{22} > 0$ ):

$$\frac{\sigma_{22}^2}{y_T^2} + \frac{\tau_{23}^2}{s_{23}^2} < 1 \quad (2.7)$$

Fiber basma ( $\sigma_{11} < 0$ ):

$$\frac{\sigma_{11}^2}{x_C^2} < 1 \quad (2.8)$$

Matris basma ( $\sigma_{22} < 0$ ):

$$\frac{\sigma_{22}^2}{(s_{11}+s_{23})^2} + \frac{\sigma_{22}}{y_C} \left[ \left( \frac{y_C^2}{(s_{12}+s_{23})} \right)^2 - 1 \right] + \frac{\tau_{12}^2}{s_{12}^2} + \frac{\tau_{31}^2}{s_{31}^2} < 1 \quad (2.9)$$

Kalınlık doğrultusunda basma ( $\sigma_{33} < 0$ ):

$$\frac{\sigma_{33}^2}{(s_{31}+s_{23})^2} + \frac{\sigma_{33}}{z_C} \left[ \left( \frac{z_C^2}{(s_{31}+s_{23})} \right)^2 - 1 \right] + \frac{\tau_{31}^2}{s_{12}^2} + \frac{\tau_{23}^2}{s_{23}^2} < 1 \quad (2.10)$$

Tablo 2. Karbon-aramid/epoksi kompozit malzeme tanımı için kullanılan değerler (Berk vd., 2017).

Karbon-Aramid/Epoksi	
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1148
$E_1$ (MPa)	47700
$E_2$ (MPa)	47700
$E_3$ (Mpa)	28620
$X_t$ (Mpa)	552
$X_c$ (Mpa)	273
$Y_t$ (MPa)	552
$Y_c$ (MPa)	273
$Z_t$ (MPa)	331
$Z_c$ (MPa)	164
$G_{12}$ (MPa)	2345
$G_{23}$ (MPa)	1407
$G_{32}$ (MPa)	1407
$S_{12}$ (MPa)	82
$S_{23}$ (MPa)	49
$S_{31}$ (MPa)	49
$\nu_{12}$	0.1
$\nu_{23}$	0.06
$\nu_{31}$	0.06

Çekme/basma gerinimi ya da maksimum efektif gerinimi kullanıcı tarafından belirlenen sınırı geçen elemanlar tamamen hasara uğramış sayılmış ve analizden silinmiştir.

Tablo 4. NIJ 0108.01 standardında belirtilen koruma seviyeleri ve mermi hızları (National Institute of Justice,1985)

Koruma Seviyesi	Test Mühimmatı	Nominal Mermi Çekirdek Kütleleri	Önerilen Namlu Uzunluğu	Gerekli Mermi Hızı (m/s)	Numune Başına Gerekli Vuruş	İzin Verilen Penetrasyon
II-A	9 mm	8 gr	10-12cm	332 ± 12	5	0
II	9 mm	8 gr	10-12 cm	358 ± 12	5	0
III-A	9 mm	8 gr	24-26 cm	426 ± 15	5	0

Malzemenin balistik seviyesini belirleme adına National Institute of Justice (NIJ) tarafından balistik koruyucu malzemeler için yayımlanan NIJ Standard 0108.01'de 9x19 mm 8 gram çekirdek ağırlığındaki Parabellum FMJ mermi için farklı seviyelerde belirlenen mermi hızlarında analizler gerçekleştirilmiştir. Test standardında verilen 5 m atış mesafesi boyunca hava tarafından mermi üzerine aerodinamik direnç kuvveti etkiyecektir.

Merminin başlangıçta sahip olduğu kinetik enerji ve hedefe vardığı andaki kinetik enerji cinsinden, enerji dengesi:

$$\frac{1}{2}mV_1^2 = \frac{1}{2}mV_2^2 + F_D x \quad (2.11)$$

şeklinde basitçe ifade edilebilir. Eşitliğin sağ tarafındaki ifade, hava direnç kuvveti tarafından yapılan işi göstermektedir. Hava direnç kuvveti (sürüklenme kuvveti) ise denklem 2.12' de verilmiştir.

$$F_D = \frac{1}{2}\rho AV^2 C_D \quad (2.12)$$

Tablo 2'de MAT 59 malzeme kartında kullanılan malzeme parametreleri görülmektedir. LS DYNA® yazılımında Lagrange yaklaşımı için hasara uğrayan elemanlar için erozyon kartı tanımlanması gerekmektedir. Bu nedenle MAT 00 (MAT\_ADD\_EROSION) kartı oluşturulmuştur.  $\epsilon_{mnp} = 0.014$ ,  $\epsilon_{mnp} = -0.005$ ,  $\epsilon_{sh} = 0.095$  olacak şekilde literatürden bulunan değerler doğrultusunda tanımlama yapılmıştır (Berk vd., 2017).

Merminin herhangi bir deformasyona uğramayıp malzeme üzerinde meydana getirdiği hasarı gözlemlenmek adına mermi çekirdeği malzemesi için MAT 20 (MAT\_RIGID) malzeme modeli kullanılmış ve çelik malzeme tanımı yapılmıştır. MAT 20 kartında kullanılan malzeme özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. MAT 20 Çelik malzeme özellikleri.

Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (Pa)	Poisson Oranı
7850	2.1 E11	0.3

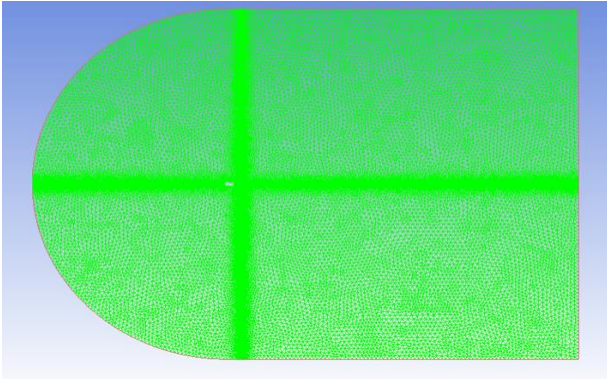
## 2.2. Sayısal Analiz Modeli

### 2.2.1. Aerodinamik Analiz Modeli

Namlu ucundan çıkan mermi hızlarının numune ön yüzünde hangi değerde alınacağı hava direnci dikkate alınarak gerçekleştirilen CFD analizleri ile bulunmuştur. NIJ 01108.1

Bu ifadede  $\rho$ : hava yoğunluğunu, A: hava içerisindeki cismin akış doğrultusuna olan dik kesit alanı, V: cisim ve hava arasındaki bağıl hızı temsil eder.  $C_D$  ise aerodinamik direnç katsayısıdır ve cismin geometrisi, havanın basınç, sıcaklık ve yoğunluk gibi özellikleri ile değişir.

Merminin çarpma hızını tayin edebilmek için direnç kuvvetine ve dolayısıyla direnç katsayısına ihtiyaç vardır. Bu nedenle iki boyutlu basitleştirilmiş bir CFD analizi yapılmıştır. Dış balistiğin karmaşık çalışma konuları düşünüldüğünde burada basit bir yaklaşım izlenip mermi hızı tayin edilmiştir. Mach sayısına göre değişen direnç katsayısı değerleri incelendiğinde literatürdeki çalışmalar ile uyumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2. 2D CFD modeli

Şekil 2’de görüldüğü gibi hava akış hacmi, mermi boyutuna oranla oldukça büyük modellenmiştir. Bunun nedeni, mermi hareketi esnasında meydana gelen akış bölgelerini ve mermi etkisini daha doğru bir şekilde gözlemlemektir. Yine bu sebeplerden dolayı mermiye yakın olan bölgelerde mesh yapısı görüldüğü üzere sıklaştırılmıştır. Toplam  $4.2 \cdot 10^6$  elemandan oluşan bir ağ yapısı kullanılmıştır. Kullanılan eleman sayısının optimum değerlere uygun olduğu literatürden görülmüştür (Selimli, 2020).

Bu sıkıştırılabilir dış akış problemi için çözücü tipi olarak basınç temelli çözücü kullanılmıştır. Basınç hız ilişkilendirme algoritması olarak da Coupled (birleşik) tercih edilmiştir. Bu sayede üstün performanslı ve hızlı bir çözüm elde edilebilmektedir. Pseudo Transient opsiyonunun aktif hale getirilmesi ile başlangıçta sürekli rejim problemi olarak seçilen modelde anlık değişimler fotoğraflanarak geçici rejim gibi sonuçlar görüntülenmektedir.

Türbülans etkilerini modellemek için Spalart Allmaras türbülans modeli kullanılmıştır (Selimli, 2020). Bu model, havacılık ve uzay uygulamalarında sıkıştırılabilir dış akış problemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Tek denklemlilikli model olarak da bilinen Spalart Allmaras, kinematik Eddy viskozitesini modelleyen bir transport denklemini çözmektedir.

Sıkıştırılabilir akış üzerinde çalışıldığı için yoğunluk değişken olmaktadır. Bu nedenle yoğunluk, ideal gaz denklemi ile hesaplanacaktır. Bu denklem ile yoğunluk hesabının yapılabilmesi için sıcaklık değerlerine ihtiyaç vardır. Bu nedenle enerji denklemi de aktif hale getirilerek sıcaklık değerleri hesaplanır. Bununla birlikte havanın viskozitesi de sabit kabul edilemez. Bilindiği üzere gaz ve sıvıların viskozitesi, sıcaklık ve basınç etkisi ile değişmektedir. Basıncın viskozite üzerindeki etkileri ihmal edilebilirken sıcaklığın etkisi önemlidir ve göz ardı edilemez. Sıvıların viskozitesi artan sıcaklık ile azalırken gazların viskozitesi artmaktadır. Akışkanın viskozitesi de meydana getirdiği direnç kuvveti ve katsayısı için önem arz eder. Bu çalışmada viskozitenin hesaplanması için Denklem 2.13’te verilen Sutherland Kanunu’ndan yararlanılmıştır (Raelison vd., 2021). Bu kanun, belli bir referans sıcaklık değeri için bilinen viskozite değerinden yararlanarak herhangi bir sıcaklık değerinde viskozitenin hesaplanmasını sağlamaktadır.

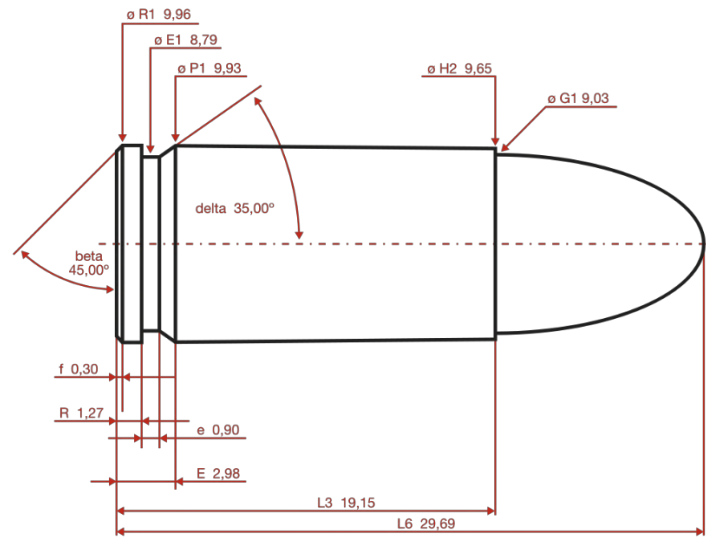
$$\mu = \mu_0 \cdot (T/T_0)^{3/2} \cdot (T_0 + S) / (T + S) \quad (2.13)$$

Burada;  $\mu$  istenen sıcaklıktaki viskozite (Pas),  $\mu_0$  ise  $T_0$  (273 K) mutlak sıcaklığındaki bilinen viskozite değeri (Pas),  $T$  viskozitesi bulunmak istenen sıcaklık (K),  $S$  gaz cinsine bağlı olup hava için  $S = 110$  K alınabilir.

Akış alanı Pressure-Far-Field olarak tanımlanarak sınır şartları girilmiştir. NIJ 0108.01 standardında koruma seviyelerinde verilen mermi hızlarının maksimum değerleri göz önüne alınarak analizlerde kullanılacak Mach sayıları sırası ile; 1.00233, 1.07809, 1.28497 şeklindedir.

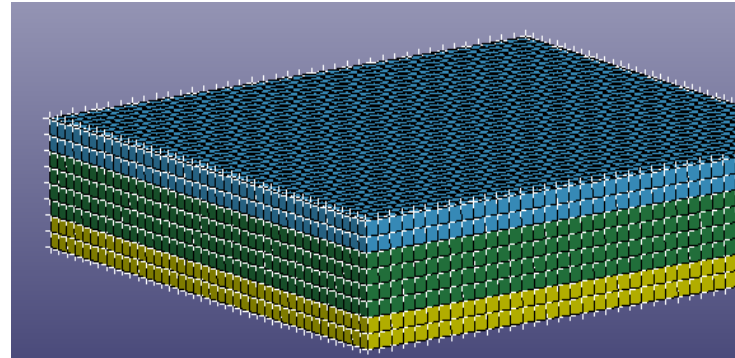
### 2.2.2. Balistik Koruyucu Plakanın Sonlu Elemanlar Modeli

Şekil 1’de görülen 3 katmandan oluşan tabakalı kompozit yapının en ve yüksekliği birbirine eşit ve 200 mm’dir. Karbon-aramid/epoksi kompozit malzemeden meydana gelen alt ve üst kısımdaki katmanların kalınlıkları 10 mm iken orta kısımda bulunan Alüminyum katmanın kalınlığı 20 mm’dir. Hibrit kompozit yapı, katı elemanlar ile modellenmiş ve 12.800 adet eleman kullanılmıştır. 9x19 mm Parabellum mühimmat ölçüleri (Şekil 3) kullanılarak tasarlanan mermi çekirdeği, 8335 adet kabuk eleman kullanılarak modellenmiştir.



Şekil 3. NIJ 9x19 mm Parabellum mühimmat ölçüleri (URL, 2021)

Rijit yapıya bağlantısını temsilen TIED\_NODES\_TO\_SURFACE contact kartı tanımlanmıştır. Böylelikle orta tabakanın alt ve üst yüzeyindeki düğüm noktaları, plakaların temas yüzeyleri ile bağlanmıştır. Mermi çekirdeği ve her bir kompozit katman arasında ilişkilendirme amacı ile AUTOMATIC\_ONE\_WAY\_SURFACE\_TO\_SURFACE kontak tanımlanmıştır.



Şekil 4. Katmanlı kompozit yapının sabitlemesi.

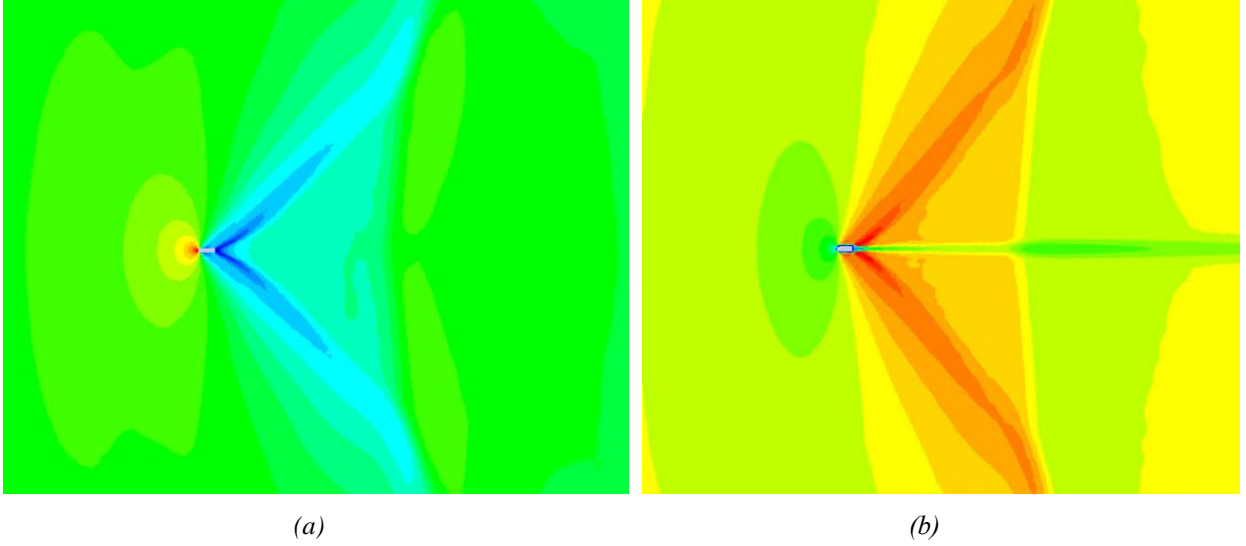


Katmanlı kompozit Şekil 4'de görüldüğü gibi yan yüzeylerindeki düğüm noktalarından her yöndeki dönme ve öteleme serbestliği sınırlandırılarak sabitlenmiştir.

INITIAL\_VELOCITY\_GENERATION kartı kullanılarak mermi hızları tanımlanmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Aerodinamik Analiz Sonuçları



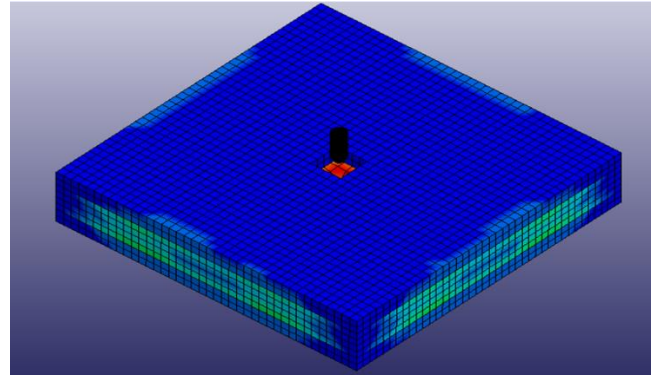
Şekil 5. Mach=1.00233 için kontür görüntüleri a)Basınç dağılımı b)Hız dağılımı.

Şekil 5. a'da açıkça görüldüğü gibi en yüksek basınç değeri merminin ucunda meydana gelir. Bu nedenle merminin formu oldukça önemli ve  $C_D$  (Sürüklenme katsayısı) katsayısında etkilidir. Şekil 5. b'de hız dağılımı gözlemlenmektedir. Mermi duvarlarında kaymama şartı nedeniyle hız 0 (sıfır) olarak görünmektedir. Her 2 şekil incelendiğinde durgunluk bölgesi, akış ayrılmaları, alçak ve yüksek basınç bölgeleri gibi akış bölgeleri gözlemlenebilmektedir. Hesaplanan  $C_D$  değerleri sayesinde Denklem (2.12) kullanılarak etki eden direnç kuvvetleri, (2.11) kullanılarak da mermi son hızları bulunmuştur. Bulunan bu hız değerleri Tablo 5'de verilmiştir. Merminin akış doğrultusuna dik kesit alanı küçük olduğundan direnç kuvveti değerleri de düşük çıkmaktadır. Bu nedenle havanın mermi hızı üzerinde çok önemli bir değişiklik yapmadığı sonucu çıkarılmıştır. Böylelikle LS-DYNA® yazılımı ile yapılacak olan yüksek hızlı darbe analizlerinde bu etki dikkate alınmadan hız değerleri de kullanılabilir.

Tablo 5. Farklı koruma seviyeleri için hesaplanan son hız değerleri

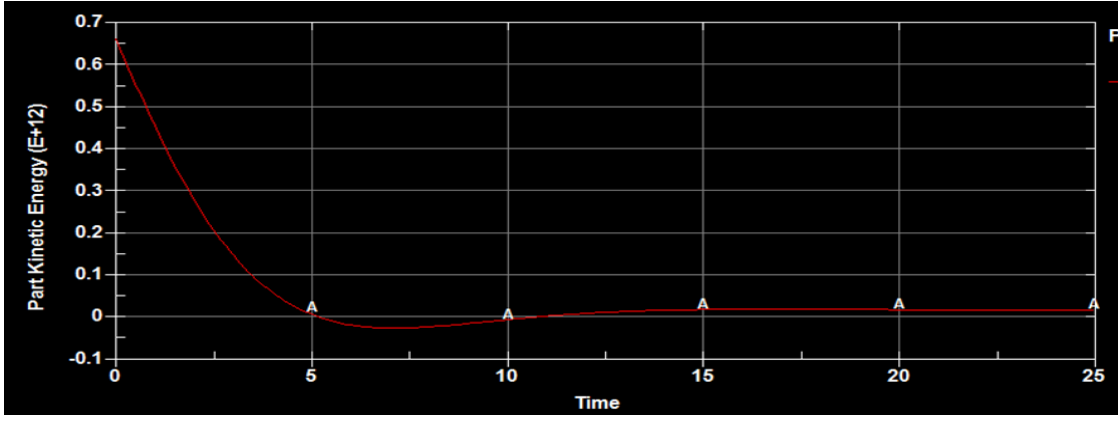
	II-A	II	III-A
$V_{ilk}$ (m/s)	344	370	441
$C_D$	0.223	0.211	0.2797
$F_D$ (N)	0.9877	1.0812	2.036
$V_{son}$ (m/s)	342.2	368.17	438.11

#### 3.2. Balistik Koruyucu Plakanın Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

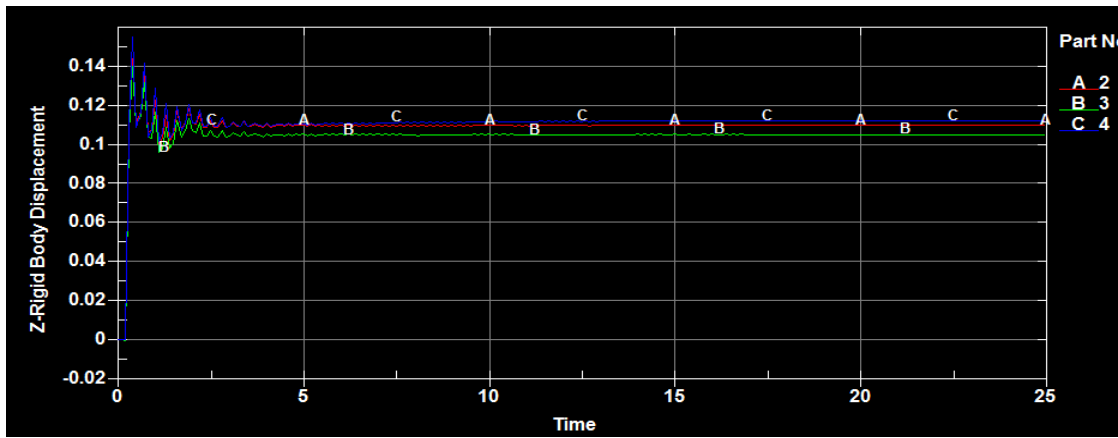


Şekil 6. II-A koruma seviyesi için katmanlı kompozitte meydana gelen hasar.

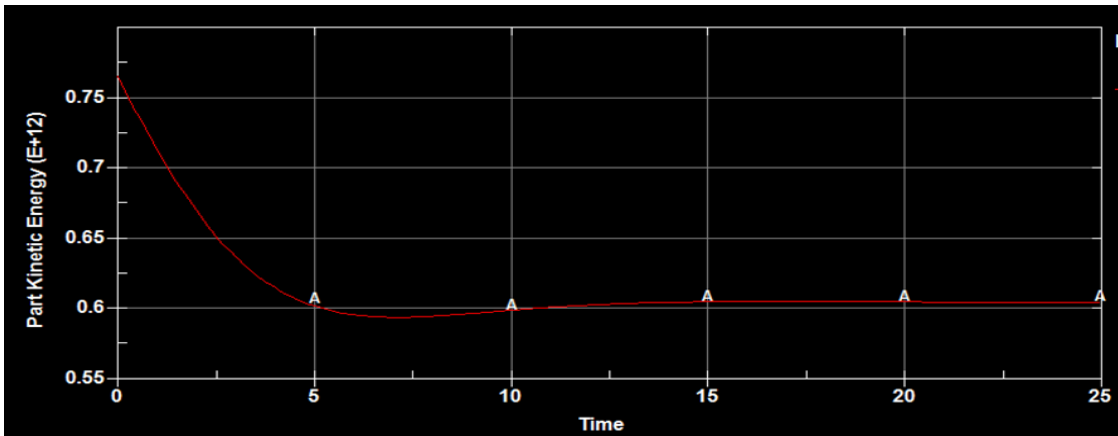
Şekil 6'da görülmüş olduğu gibi NIJ 0108.01 standardında II-A koruma seviyesi için belirtilen 344 m/s'lik mermi hızında, üst katmanda bulunan karbon-aramid/epoksi kompozit için malzeme kartında tanımlanan parametre değerleri aşıldığından mermi ve kompozitin temas ettiği bölgede limit hasar değerlerini aşan elemanlar otomatik olarak kaldırılarak fiziksel penetrasyon gösterilmiştir. Ortada bulunan alüminyum çekirdekte çöküntü meydana gelmiş fakat kurşun bu tabakada delinmeye sebep olmamıştır. Şekil 7'de merminin kinetik enerjisinin tamamen absorbe edildiği net olarak görülmektedir.



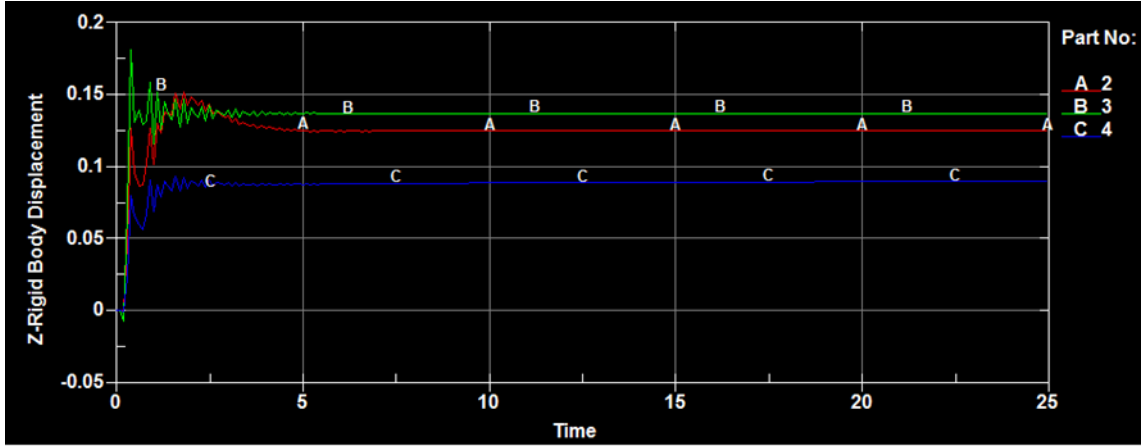
Şekil 7. Mermi çekirdeğinin kinetik enerjisinde zamanla meydana gelen değişim(II-A).



Şekil 8. Kompozit tabakalarda z- yönünde meydana gelen yer değiştirme- zaman grafiği (II-A).



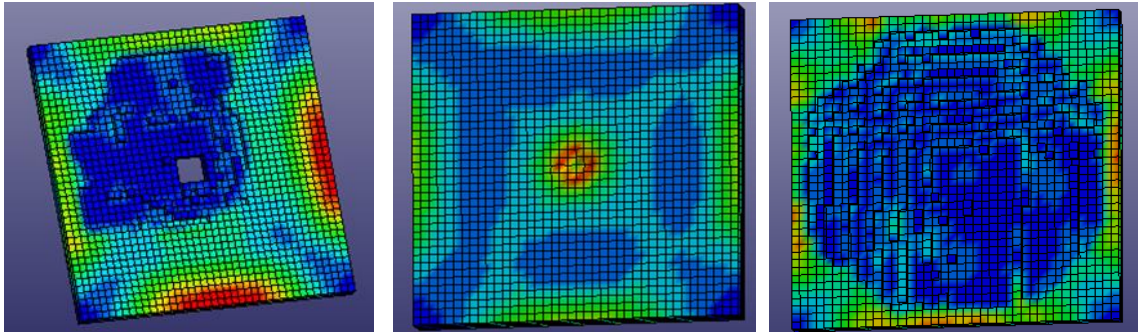
Şekil 9. Mermi çekirdeğinin kinetik enerjisinde zamanla meydana gelen değişim (II).



Şekil 10. Kompozit tabakalarda z- yönünde meydana gelen yer değiştirme- zaman grafiği (II).

Şekil 8 ve Şekil 10'da verilen deplasman-zaman grafiklerinde; A: en üst kısımda bulunan karbon-aramid/epoksi kompozit tabakayı, B: orta kısımda bulunan alüminyum alaşımlı katmanı, C: alt kısımda bulunan karbon-aramid/epoksi kompozit tabakayı göstermektedir. Yüksek hızlı darbe esnasında üst

katmandaki kompozit tabakaya gelen darbe enerjisi ve gerilim, tabakanın mermi ile etkileşimi esnasında tabaka içine yayılmamıştır. Fakat diğer katmanlarda gerilme dalgalarının malzeme içerisinde yayılması için yeterli zaman bulunmuştur.



Şekil 11. Koruma seviyesi II için katmanlarda meydana gelen hasarlar.

370 m/s mermi hızı için katmanlı kompozit yapının gösterdiği davranış Şekil 11'de verilmiştir. Orta katmanda yine herhangi bir delinme görülmemiştir. Fakat 3. katmana aktarılan darbe enerjisi sebebi ile şekil değiştirme limitlerini aşan elemanlar silinmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde mermi enerjisinin tasarlanan zırh malzemesi tarafından soğurulmadığı Şekil 7 ve Şekil 9'da gözlemlenmiştir. Orta katmanda bulunan Alüminyum malzeme, mermi yönünü saptırmaya yönelik bir davranış göstermektedir. Merminin artık enerjisinin çok düşük seviyelere inmesi nedeniyle önerilen tasarım, hafif ve ekonomik balistik koruyucu alternatif bir malzeme olacaktır.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada öncelikli olarak CFD analizleri ile NIJ 018.01 standardında 9x19 mm parabellum merminin tabancadan çıkış hızı ile havada hareketi sonrası belirlenen 5 m atış mesafesi sonrasındaki hedef plakaya çarpma hızı belirlenmiştir. Böylece hava direnci göz önüne alınan analizler yapılmıştır. Belirlenen standarda uygun balistik performansı iyileştirilmiş, ön ve arka kısmında katmanlı kompozit plaka ve orta kısmında alüminyum plaka olan bir sandviç yapı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu malzeme tasarımında ön katmanlı kompozit katmanın, merminin

kinetik enerjisinin önemli bir kısmını hasara uğratarak alması ve orta katmandaki yüksek şekil değiştirme kabiliyetine sahip alüminyum plakada sürtünme ve plastik şekil değiştirme ile mermi enerjisinin çok büyük oranda absorbe edilerek sönmülmesi hedeflenmiştir. Mermi üzerindeki şekil değiştirmeler göz ardı edilerek maksimum hasar oluşturacak bir durum, mermi için çelik malzeme tanımı gerçekleştirilerek elde edilmek hedeflenmiştir. Arka kompozit katmanlı plaka ise alüminyum orta katmanın deformasyon sırasında oluşturacağı lokal hasarları önlemek ve alüminyumu delerek geçmesi durumunda kurşunu durdurması için kullanılmıştır. Tasarlanan alüminyum çekirdekli katmanlı kompozit sandviç yapının balistik performansı, sonlu elemanlar analizleri ile incelenmiştir. Belirlenen katman sayıları ve kompozit konfigürasyonlarına göre tasarlanan plakalara yapılan analiz sonuçlarında, 344 ve 370 m/s hızlardaki 9x19mm parabellum mermilerin enerjisinin kompozit plaka tarafından soğurulduğu yani mermilerin plakalarda delinmeye yol açmadığı görülmüştür.

## Kaynakça

- Berk, B., Karakuzu, R., & Toksoy, A. K. (2017). An experimental and numerical investigation on ballistic performance of advanced composites. *Journal of Composite Materials*, 51(25), 3467–3480.  
<https://doi.org/10.1177/0021998317691810>
- Bitlisli, B., & Yazıcı, M. (2019). Araç Zirhlamada Kullanılan Kompozit Malzemelerin Balistik Performanslarının İncelenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24(1), 25–34.  
<https://doi.org/10.17482/uumfd.494262>
- Deniz, T., Namık, K., & R.Orhan, Y. (2010). Balistik penetrasyon benzetimlerinde johnson-cook malzeme modeli sabitlerinin etkisinin incelenmesi. *SAVTEK 2010 Savunma Teknolojileri Kongresi*, 1–10.
- Karl, J., Kirsch, F., Faderl, N., Perko, L., & Fras, T. (2020). Optimizing viscoelastic properties of rubber compounds for ballistic applications. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(21), 1–15. <https://doi.org/10.3390/app10217840>
- Kasım, H. (2021). Investigation on the ballistic performance of rubber-aluminum (AA7075-T651) laminated plates reinforced with borosilicate glass balls. *Proceedings of the insitution of mechanical engineers part 1-Journal of Materials-Design and Applications*, 1464420721, 3–29.  
<https://doi.org/10.1177/146442072111044460>
- Khodadadi, A., Liaghat, G., Shahgholian-Ghahfarokhi, D., Chizari, M., & Wang, B. (2020). Numerical and experimental investigation of impact on bilayer aluminum-rubber composite plate. *Thin-Walled Structures*, 149(January), 106673.  
<https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.106673>
- LSTC. (2007). *LS-DYNA® Keyword User's Manual Version 971*. National Institute of Justice. (1985). In *Ballistic Resistance Protective Materials 0108.01*.
- Oliveira, M. S., Luz, F. S. da, Lopera, H. A. C., Nascimento, L. F. C., Garcia Filho, F. da C., & Monteiro, S. N. (2021). Energy absorption and limit velocity of epoxy composites incorporated with fique fabric as ballistic armor—a brief report. *Polymers*, 13(16).  
<https://doi.org/10.3390/polym13162727>
- Ouellet, S., Levine, J., & Dionne, J. P. (2008). Parametric study on rigid plates, compressible foams and air gaps combinations for mitigating blast in personal protection applications. *Proceedings of Personal Armour System Symposium*, 131–139.
- Park, C.-K., Kan, C.-D. (Steve), Hollowell, W. T., & Hill, S. I. (2012). *Investigation of Opportunities for Lightweight Vehicles Using Advanced Plastics and Composites*. Washington, DC:National Highway Traffic Safety Administration.
- Raelison, R. N., Koithara, L. L., & Costil, S. (2021). Computational and Experimental Analysis of the Phenomenological Gas Flow Behavior and Particle Kinematics During Low Pressure Cold Spraying. *Thermal Spray 2021: Proceedings from the International Thermal Spray Conference*, 83881, 229–234.  
<https://doi.org/10.31399/asm.cp.itsc2021p0229>
- Reis, R. H. M., Nunes, L. F., da Luz, F. S., Candido, V. S., da Silva, A. C. R., & Monteiro, S. N. (2021). Ballistic performance of guaruman fiber composites in multilayered armor system and as single target. *Polymers*, 13(8), 1–15.  
<https://doi.org/10.3390/polym13081203>
- Selimli, S. (2020). Yüzey Geometrisinin Mermi Aerodinamik Davranışları Üzerine Etkisinin Nümerik İncelenmesi. *Journal of Polytechnic*, 0900(1), 299–304.  
<https://doi.org/10.2339/politeknik.698872>
- Tan, P. (2013). Finite element simulation of the behaviours of laminated armour systems against blast wave and projectile dynamic impacts. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 227(1), 2–15.  
<https://doi.org/10.1177/1464420712454371>
- URL. (2021). Retrieved December 2, 2021, from [https://tr.wikipedia.org/wiki/9x19mm\\_Parabellum](https://tr.wikipedia.org/wiki/9x19mm_Parabellum)
- Yanen, C., & Solmaz, M. (2015). Tabakalı Hibrit Kompozitlerin Bireysel Zırh Malzemesi Olarak Üretimi Ve Balistik Performanslarının İncelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2016(2), 351–362.  
<https://doi.org/10.31202/ecjse.67164>





# 10-12 Yaş Okul Çocuklarında Beslenme ve Fiziksel Aktivitenin Vücut Kompozisyonu ve Uyku Kalitesine Etkisi

Latifa Azimova<sup>1</sup>, Ecenur Özkul<sup>2</sup>, Can Ergün<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Medera Hastanesi, Bakü, Azerbaycan, (ORCID: 0000-0003-0129-5704), [latifa-azimova@mail.ru](mailto:latifa-azimova@mail.ru)

<sup>2</sup> Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2651-0135), [ecenur.ozkul@hes.bau.edu.tr](mailto:ecenur.ozkul@hes.bau.edu.tr)

<sup>3\*</sup> Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5139-4407), [can.ergun@hes.bau.edu.tr](mailto:can.ergun@hes.bau.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 14 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 30 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009725)

**ATIF/REFERENCE:** Azimova, L., Özkul, E. & Ergün, E. (2021). 10-12 Yaş Okul Çocuklarında Beslenme ve Fiziksel Aktivitenin Vücut Kompozisyonu ve Uyku Kalitesine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 943-950.

## Öz

Çocukluk dönemi büyüme ve gelişme açısından önemlidir. Bu dönemde kazanılan alışkanlıklar gelecekte bireyin sağlığını etkilemektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar çocukluk dönemini etkileyen faktörler arasında uyku kalitesinin büyük yer tuttuğunu vurgulamaktadır. Gelişim döneminde uyku kalitesinin düzenlenmesinin okul başarısı, vücut kompozisyonu, fiziksel aktivite ve beslenme üzerinde olumlu etkileri olabileceği savunulmaktadır. Okul çocuklarında beslenme ve fiziksel aktivitenin vücut kompozisyonu ve uyku kalitesine etkisini araştırmak amacıyla yapılan çalışma 10-12 yaş arası 300 çocuğu kapsamaktadır. Anket formu çocuk uyku alışkanlıkları anketi indeksi, sosyo-demografik özellikler, beslenme alışkanlıkları, çocuklar için fiziksel aktivite ölçeğini içermektedir. Anket sonuçlarında beslenme gibi faktörlerin vücut kompozisyonunu etkilediği ve bununda uyku kalitesiyle bağlantılı olduğu bulunmuştur. Yapılan değerlendirmede genel uyku miktarı ile çocukların persentil değerleri ile anlamlı ilişki belirlenmiştir (p<0.05). Karbonhidrat tüketimindeki ve enerji tüketimindeki artışların sırasıyla %30.1, %35.7 oranlarında uyku süresinde azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Bu da uykunun birçok faktörle bağlantısını vurgulamakta ve sağlık üzerinde önemini vurgulamaktadır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar literatür ile uyumlu bulunmuştur. Çocukluk çağında uykunun önemini belirlemek ve yetişkinlik döneminde oluşabilecek sağlık sorunlarını engellemek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

**Anahtar Kelimeler:** Çocuk uyku alışkanlıkları, Okulçağı beslenmesi, Çocukluk çağı obezitesi

## The Effect of Nutrition and Physical Activity on Body Composition and Sleep Quality in 10-12 Years Old School Children

### Abstract

Childhood is important for growth and development. The habits gained during this period affect the health of the individual in the future. Recent studies emphasize that sleep quality has a great place among the factors affecting childhood. It is argued that regulation of sleep quality during the developmental period may have positive effects on school success, body composition, physical activity and nutrition. The study, which was conducted to investigate the effects of nutrition and physical activity on body composition and sleep quality in school children, included 300 children between the ages of 10-12. The questionnaire form includes child sleep habits questionnaire index, socio-demographic characteristics, eating habits, physical activity scale for children. In the survey results, it was found that factors such as nutrition affect body composition and this is related to sleep quality. In the evaluation, a significant relationship was determined between the general amount of sleep and the percentile values of the children (p<0.05). At the same time, as the amount of carbohydrate consumption increases, sleep duration decreases by 30.1% and as the amount of energy increases, sleep duration decreases by 35.7%. This emphasizes the connection of sleep with many factors and emphasizes its importance on health. The results obtained from the study were found to be compatible with the literature. More studies are needed to determine the importance of sleep in childhood and to prevent health problems that may occur in adulthood.

**Keywords:** Child sleep habits, Childhood nutrition, Childhood obesity

\* Sorumlu Yazar: [can.ergun@hes.bau.edu.tr](mailto:can.ergun@hes.bau.edu.tr)

## 1. Giriş

Diyet ve sağlıkla ilgili yaşam tarzı davranışları yaşamın erken dönemlerinde gelişmekte ve yetişkinliğe doğru ilerlemektedir. İki yaş ve altı çocuklarda gözlemlenen şişmanlığın, yetişkin dönemindeki obezite ve ilişkili hastalıklar için önemli bir belirteç olduğu bildirilmiştir (Verjans-Janssen, Van de Kolk, Van Kann, Kremers ve Gerards, 2018).

Günümüzde çocuklar yükek enerjili gıdaların tüketiminin fazla olması, düşük fiziksel aktivite ve hareketsiz bir yaşam tarzı gibi davranışları alışkanlık haline getirdiklerinden obezojenik bir ortamda büyümektedirler (Kim ve Lim, 2019). Yemek yeme davranışları incelendiğinde, Bugünün Büyümesi Araştırması (GUTS), 9 yaşındaki çocukların %50,7'si her gün aileleriyle birlikte akşam yemeği yediğini, 14 yaşına doğru bu oranın %35,4'e düştüğünü göstermektedir. Sağlıklı alışkanlıkları kazandırabilmek amacıyla okul çağı çocuklarında sağlıkla ilgili davranışları kontrol etmek büyük önem taşımaktadır. Öğün düzenlemeleri ile birlikte okulda veya dışarıda sosyal ortamlarda yanlış besin tercihi yapmak, zaman yetersizliğinden dolayı atıştırma davranışlarına yönelmek bu yaş grubunda çok sık yapılan hatalı davranışlardır (Gingras, 2018).

Yeterli ve kaliteli uyku eksikliğinin çocuklar ve ergenler arasında belirtilen risk faktörlerine ek olarak obezite prevalansının artmasına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Yapılan bir çalışmada, uyku kısıtlamasının seçilen endokrin sistem fonksiyonlarını olumsuz etkilediğini, iştah uyarıcı hormon ghrelin ve anoreksojenik hormon leptin seviyelerinde değişikliklere yol açtığını bildirmektedir (Kjeldsen vd., 2014). Literatürde çocukluk ve adolesan dönemde uyku bozuklukları oranlarının %25-30 olduğu bildirilmektedir (Tolaymat ve Liu, 2017). Bir çalışmada, okul çağı çocukların 8.5-10 saat uyuması gerektiği bildirilmektedir. Yetersiz uykunun, çocuklarda sinirlilik ve dikkat eksikliğine yol açarak zayıf bir akademik performansa neden olabileceği vurgulanmaktadır (Crispim vd., 2011). Uyku, fiziksel büyümenin ve akademik performansın temel bir bileşeni olarak, okul çağı çocuklarında sağlığı geliştirme çabalarında çok önemli bir faktördür (Den Wittenboer, 2000). Ek olarak uykunun besin seçimlerine de etki ettiği belirtilmiştir. Birbirini izleyen beş gece boyunca kronik uyku kısıtlamasının, adolesanları yüksek glisemik indeksli gıdaların tüketimine yönlendirdiği ve böylece enerji dengesizliğine yol açtığı rapor edilmiştir (Morrissey, Allender ve Strugnell, 2019). Bu nedenle, uyku yoksunluğu kilo alımını doğrudan etkilemesede, fiziksel aktivite gibi ilişkili olduğu davranış değişikliklerinin bir sonucu olarak aşırı kilo ve obezite riskini önemli ölçüde artırabilmektedir. Çocukluk dönemi alışkanlıkların kazanıldığı dönem olduğu için, bu konuda daha fazla çalışma yapılarak, mekanizmaların tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir. Uykunun beslenme, fiziksel aktivite gibi davranışları dolaylı yollarla etkileyerek çocukluk çağındaki öneminin vurgulanması ve yapılan yanlışların önlenmesi gerekmektedir (Harrex vd., 2017).

Yapılan çalışmada çocukluk döneminde sağlığı etkileyebileceği düşünülen faktörlerin öneminin vurgulanması amaçlanmaktadır. Uyku düzeni, beslenme ve fiziksel aktivite alışkanlıkları bu dönem kazanıldığı için, doğru müdahale ile sağlığın temelini oluşturmak mümkündür. Çocukluk döneminde

alışkanlıkların düzeltilmesi daha kalıcı ve kolay olduğu için bu dönem araştırılmalıdır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Araştırmanın Alanı ve Tarihi

Araştırma Azerbaycan, Bakü'de bulunan QAMET ABBASOV 284 N'lı okulda okuyan 10-12 yaş grubu öğrenciler ile Ağustos-Ekim 2019 tarihlerinde Bahçeşehir Üniversitesi 20021704-604.01 01 numaralı etik kurul izni ile tamamen gönüllülük esasına dayalı olarak yüz yüze anket yöntemiyle planlanıp yürütülmüştür.

### 2.2. Anket Formu

Araştırma verileri, ankete katılım sağlayan 10-12 yaş okul çocuklarında beslenme, fiziksel aktivite, vücut kompozisyonu ve uyku kalitesine yönelik durumlarını doğru yansıtacak şekilde hazırlanmıştır. Araştırmanın verileri toplanırken, demografik bilgiler için 8 sorudan oluşan Kişisel Bilgi Formu, 10 sorudan oluşan Çocuklar için Fiziksel Aktivite Ölçeği ve 33 sorudan oluşan Çocuk Uyku Alışkanlıkları Anketi uygulanmıştır. Ayrıca, katılımcıların 3 günlük besin tüketim kayıtları velileri tarafından kaydedilmiştir. Ek olarak, katılımcıların boy uzunluğu, üst orta kol çevresi ve vücut ağırlığı ölçülerek, vücut kütle indeksi (VKİ) hesaplanmıştır. Anketin çocuk uyku alışkanlıkları kısmı veliler aracılığı ile elde edilmiştir.

### 2.3. İstatistiksel Analiz

Araştırma kesitsel tipte bir çalışmadır. Elde edilen veriler, IBM SPSS Statistics 21.0 sürümü kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada anlamlılık düzeyi  $\alpha = 0.05$  olarak alınmıştır. Hipotezlerin test edilmesi ve bunun için hangi testin uygun olduğunun belirlenmesi için verilerin dağılımının normal olup olmadığı sınanmıştır. Sorular normal dağılımlı olmadığı için ( $p < 0.05$ ), analizlerde normal dağılım gerektirmeyen non-parametrik yöntemler kullanılmıştır. Grup farklılığı analizlerinde, iki grup için t testi yerine non-parametrik karşılığı olan ve 2'li grup için uygunluk gösteren Mann-Whitney-U testi kullanılmıştır. İki'den fazla grup için Kruskal-Wallis testi uygulanmıştır. Besin tüketim kaydı verileri Beslenme Bilgi Sistemi (BEBİS) kullanılarak elde edilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Obezite, 21. yüzyılın en ciddi halk sağlığı sorunlarından biri olarak belirtilmektedir. Obezitenin oluşmasında sürekli yüksek kalorili besin alınmasının yanında pek çok faktör rol oynar. Tam olarak tanımlanmadasa genetik ve çevresel faktörler arasındaki patofizyolojinin önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir (Hurt, Frazier, McClave ve Kaplan, 2011). Genetik faktörler arasında en önemlilerden birisi cinsiyet olarak gösterilirken, yaşanan çevre, ebeveyn eğitim düzeyi, egzersiz seviyesi önemli çevresel faktörler arasında değerlendirilmektedir. Araştırmamızda katılımcıların yüzde 50.3'nün kız yüzde 49.7'sinin erkek olduğu belirlenmiştir. Egzersiz durumları sorgulandığında yüzde 4.3'ü hergün egzersiz yapmakta, yüzde 95.7'si ise hergün egzersiz yapmamaktadır.

Tablo 1. Katılımcılara ait genel bilgiler

Genel Bilgiler		Kişi Sayısı (n)	Yüzde (%)
Cinsiyet	Kız	151	50,3
	Erkek	149	49,7
Okuduğu Sınıf	4.sınıf	8	2,7
	5.sınıf	77	25,7
	6.sınıf	79	26,3
	7.sınıf	136	45,3
Anne eğitim durumu	Ortaokul	3	1,0
	Lise	72	24,0
	Üniversite	224	74,7
	Lisansüstü	1	,3
Baba eğitim Durumu	Ortaokul	0	0
	Lise	20	6,7
	Üniversite	271	90,3
	Lisansüstü	9	3,0
Her gün Egzersiz Yapma Durumu	Evet	13	4,3
	Hayır	287	95,7

Tablo 2. Antropometrik ölçümlere yönelik tanımsal istatistikler

Değişkenler	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Vücut ağırlığı (kg)	21,80	87,00	40,63	11,52
Boy uzunluğu (cm)	120,00	174,00	142,66	11,70
Üst orta kol çevresi(cm)	14,00	32,00	21,16	3,01
VKI (kg/m <sup>2</sup> )	11,40	32,80	19,6	3,63

(Zhang, N. ve Ma, 2018, Christensen vd., 2016). Bizim çalışmamızda da 10-12 yaş arası 300 çocuğun (149 erkek, 151 kız) %18'i hafif şişman, %22,7'si ise şişman ve obez olarak belirlenmiştir (Data gösterilmemiştir). Katılımcıların vücut ağırlığı ortalaması  $40,63 \pm 11,53$  kg'dır. Boy ortalaması ise,

$142,66 \pm 11,71$  olarak elde edilmiştir. Üst kol çevresinin ortalaması  $21,16 \pm 3,02$  cm ve VKI ortalaması  $19,67 \pm 3,64$  kg/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar okul çağı çocuklarının daha fazla risk faktörlerine sahip olduklarını ve yaygınlığı doğrulamaktadır.

Tablo 3. VKİ ile anne eğitim düzeyi, sabah kahvaltı yapma ve yeterli uyuma için ilişki analizi

Değişkenler	Yüzde (%)	Pa
Anne Eğitim Düzeyi	5,9	,215
Sabah Kahvaltı Yapma	17,4	,000

Çocukluk çağı obesitesinde yüksek kalorili besin alınmasının yanı sıra öğün ve uyku saatleride önem arz etmektedir (Hurt, Frazier, McClave ve Kaplan, 2011). Kahvaltı, çocukların sağlığı, zihinsel faaliyetleri ve vücut kompozisyonu için en önemli öğün olarak nitelendirilmektedir (Ricotti vd., 2021). Beslenme veya çevresel diğer faktörlerle obeziteye sebep olacak diğer faktörler arasında çocukluk döneminde kahvaltı öğününün atlanılmasının önemli bir faktör olduğu bildirilmektedir. Başlıca sebepler kısıtlı zaman ve iştah eksikliği olarak belirtilmiştir. Ebeveyn eğitim

düzeyinin özellikle beslenme alışkanlıklarında asıl belirleyici olan annenin eğitim düzeyinin yüksek olmasının çocuk ve adölesanlarda öğün düzeni üzerinde olumlu yönde etkili olduğu görülmüştür (Kartal, Burnaz, Yaşar, Sağlam ve Kıymaz, 2019) ( $p < 0,05$ ). Yapılan bir çalışmada (Akman, Tüzün ve Ünalın, 2012), anne eğitim seviyesindeki artışın çocuklarının beslenme alışkanlıklarını olumlu yönde etkilediğini dolayısıyla obezite gelişimi üzerinde etkili olabileceği bildirilmiştir. Araştırmamızda VKİ ile anne eğitim düzeyi arasında istatistik açısından anlamlı

ilişki bulunmamaktadır ( $p>0.05$ ). Fakat VKİ ile sabah kahvaltı yapma değişkeni arasında istatistik açısından negatif yönlü %17,4

anamlı ilişki vardır. Sabah kahvaltı yapan çocukların VKİ düzeylerinin daha az olduğunu bulunmuştur.

Tablo 4. Tüketilen enerji ve besin öğelerinin antropometrik ölçümler, uyku puanı ve fiziksel aktivite puanı ilişkisi analizi

Değişkenler	Değişkenler	Yüzde (%)	Pa
Enerji	Boy Uzunluğu	9,9*	,011
	Vücut Ağırlığı	31,3*	,000
	Üst orta kol çevresi	38,5*	,000
	VKI	44,5*	,000
	Toplam uyku puanı	1,7	,264
	Toplam Fiziksel Aktivite puanı	25,3	,000
Karbonhidrat	Boy Uzunluğu	3,1	,423
	Vücut Ağırlığı	20,6*	,000
	Üst orta kol çevresi	29,6*	,000
	VKI	33,2*	,000
	Toplam uyku puanı	13,6	,000*
	Toplam Fiziksel Aktivite puanı	17,8*	,000
Protein	Boy Uzunluğu	13,1*	,001
	Vücut Ağırlığı	25,3*	,000
	Üst orta kol çevresi	25,9*	,000
	VKI	30,9*	,000
	Toplam uyku puanı	16,5	,453
	Toplam Fiziksel Aktivite puanı	13,8*	,001
Yağ	Boy Uzunluğu	8,4*	,032
	Vücut Ağırlığı	31,4*	,000
	Üst orta kol çevresi	37,4*	,000
	VKI	44,1*	,000
	Toplam uyku puanı	0,1	,986
	Toplam Fiziksel Aktivite puanı	30,2	,000
Fiziksel Aktivite	Boy Uzunluğu	27,6*	,000
	Vücut Ağırlığı	41,5	,000
	Üst orta kol çevresi	35,4*	,000
	VKI	39,2	,000
	Toplam uyku puanı	6,4	,123
Uyku Puanı	Boy Uzunluğu	,6	,136
	Vücut Ağırlığı	,3,1	,446
	Üst orta kol çevresi	,1,1	,790
	VKI	,4	,917
	Toplam Fiziksel Aktivite puanı	6,4	,123



Beslenme ve fiziksel aktiviteyi içeren yaşam tarzı değişikliği, çocukluk çağı obezitesine tedavi yaklaşımının temelini oluşturmaktadır (Ambrosini, Emmett, Northstone ve Jebb, 2014). Özellikle okul çocuklarında daha yüksek enerji, yağ, sodyum ve şeker alımının artmasının yanı sıra daha düşük meyve, sebze ve lif tüketimi görülmektedir. Yüksek enerji içeren gıda tüketiminin artması çocuklarda daha yüksek VKİ ile sonuçlanmaktadır (Gingras, Hivert ve Oken, 2018). Bizim çalışmamızda persentil durumlarına göre enerji alımı incelendiğinde, çok zayıf çocuklarda enerji alımı ortalama 787 kcal/gün olurken, hafif şişman ve şişman çocuklarda ortalama 1224- 1364 kcal/gün olarak yükselmektedir. Ayrıca sırasıyla karbonhidrat, yağ ve protein alımı da hafif şişman ve şişman çocuklarda daha yüksek olmaktadır. VKİ değerleriyle beraber üst kol çevresi ölçümü ile de pozitif ilişkili olmaktadır. Bu da ileriki yaşlarda birçok sağlık problemini beraberinde getirebilmektedir. “Küreselleşen Dünyada Çocuklarda Büyüyen Sorun: Obezite” isimli çalışmada; şişmanlığın artmasında neden olan çevresel risk faktörleri olduğunu, çocuk ve ergenlerin yağlı ve fazla kalorili besinlere rahat ulaşımı, yüksek kalorili ve aya üstü hızlı yenen hazır besinler (fast food), lifli besin tüketiminin az olması, fast food endüstrisindeki güçlü pazarlama, fiziksel aktivitenin azlığı ve sedanter aktivitelerinin (TV izleme ve bilgisayar kullanma) artmasının da çocukluk çağı obezitesinin artmasına sebep olan diğer faktörler olduğunu belirtmektedirler (Barbaros ve Balcı, 2015). Sonuçlarımıza göre enerji oranı arttıkça boy uzunluğu yüzde 9,9, vücut ağırlığı yüzde 31,3, üst kol çevresi yüzde 38,5, VKİ oranı yüzde 44,5, pozitif yönlü anlamlı ilişki göstererek artmaktadır. Enerji ile toplam fiziksel aktivite puanı ile istatistik açısından negatif yönlü yüzde 25,3 anlamlı ilişki vardır ( $p>0.05$ ).

Sadece enerji yoğun beslenme değil, aynı zamanda fiziksel aktivitenin azlığı gibi faktörlerde çocukların sağlığında risk faktörü olmaktadır. Düzenli fiziksel aktivitenin çocukların sağlığı üzerindeki olumlu etkisi bilinmektedir. Artan fiziksel aktivite, kardiyovasküler risk faktörlerindeki iyileşmelerle ilişkilendirilmektedir (Oliveira, Ferrari, Araújo ve Matsudo, 2017). Michalopoulou ve arkadaşlarının, çocuklarla yaptığı kesitsel bir çalışmada gün içerisinde atılan adımları ölçmek için pedometreleri kullanılmış ve her iki cinsiyetten normal çocukların günde aşırı kilolu olanlara göre daha fazla adım attığını bulmuştur (Michalopoulou vd., 2011). Fiziksel aktivite, toplam enerji harcamasını ve yağ oksidasyonunu artırarak yağ kütlesini azaltabilir ve yağsız vücut kitlesini koruyabilir. Bu nedenle, fiziksel aktivitenin artırılması çocukluk çağı obezitesinin önlenmesi için önemli bir strateji olarak kabul edilmektedir (Yan-Ping vd., 2010). Fiziksel aktivite durumunu belirlemek için kullandığımız ÇFAÖ anketininin sonuçlarına göre erkek çocuklarda toplam puan ortalama 41,59, kız çocuklarda toplam puan ortalama 41,83 olarak belirlenmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlara göre hafif kilolu ve şişman çocuklara puan daha düşük

olmaktadır. Keskin ve arkadaşlarının çalışmasında ÇFAÖ puan ortalaması 26.12 olarak bulunmuştur (Keskin, Çubuk, Alpkaya ve Öztürk, 2017). Çalışma sonuçlarına göre fiziksel aktivitenin vücut kompozisyonu üzerinde etkilerine baktığımızda vücut ağırlığı ile % 41,5, üst kol çevresi ile %35,4, VKİ ile % 39,2 negatif yönlü anlamlı ilişki elde edilmiştir.

Enerji alımını artıran bir diğer faktör uyku miktarı olmaktadır. Literatürde çocukluk ve ergenlik döneminde uyku bozuklukları oranlarının %25-30 olduğu bildirilmiştir. Bir çalışmada, okul çağında çocukların ortalama 10 saat uyuması gerektiği bildirilmiştir (Sekine vd., 2002). Bir diğer çalışmada ise adölesan dönemde en az 8,5 saat uyuması gerektiğini belirtmiştir (Fisher vd., 2014). Çocuklarla yapılan en büyük pediatrik çalışmada, 8 saatten az uyuyan 6-7 yaş çocukların obez olma olasılığının, 10 saatten fazla uyuyan çocuklardan üç kat daha fazla olduğu vurgulanmıştır (Sekine vd., 2002). Bizim yaptığımız çalışmada kullanılan CSHQ anketi sonucuna bakıldığında, ortalama erkek çocuklarda 40 puan, kız çocuklarında ise 41 puan elde edilmiştir. Toplam uyku puanında sağlık için risk oluşturmaya da, yapılan çalışmalarında desteklediği birçok faktör bizim çalışmamızda da gösterilmiştir.

Karbonhidrat ile kilo değişkeni arasında yüzde 20,6, üst kol çevresi 29,6, VKİ yüzde 33,2 pozitif yönlü anlamlı ilişki göstermektedir. Karbonhidrat ile toplam uyku puanı değişkeni arasında pozitif yönlü anlamlı ilişki vardır ve karbonhidrat değeri yükseldikçe uyku puanı yüzde 13,6 yükselmektedir. Karbonhidrat oranı arttıkça toplam fiziksel aktivite puanı yüzde 17,8 düşmektedir. Protein ile boy uzunluğu değişkeni arasında istatistik açısından yüzde 13,1, vücut ağırlığı ile yüzde 25,2, üst orta kol çevresi ile yüzde 25,9, VKİ değişkeni ile yüzde 30,9 pozitif yönlü anlamlı ilişki vardır. Protein uyku puanı arasında ilişki bulunmamakta ve ile toplam fiziksel aktivite puanı ile negatif yönlü yüzde 13,8 anlamlı ilişki olmaktadır. Yağ ile boy uzunluğu değişkeni arasında istatistik açısından yüzde 8,4, vücut ağırlığı değişkeni ile yüzde 31,4, üst kol çevresi ile yüzde 37,4, VKİ değişkeni ile arasında istatistik açısından yüzde 44,1 pozitif yönlü anlamlı ilişki vardır. Yağ ile toplam uyku puanı değişkeni arasında ilişki olmamakta ve toplam fiziksel aktivite puanı değişkeni arasında istatistik açısından negatif yönlü yüzde 30,2 anlamlı ilişki olmaktadır ( $p>0.05$ ). Toplam fiziksel aktivite puanı ile boy uzunluğu değişkeni arasında yüzde 27,6 negatif yönlü anlamlı ilişki vardır. Toplam fiziksel aktivite puanı ile vücut ağırlığı değişkeni arasında yüzde 41,5, üst kol çevresi değişkeni ile yüzde 35,4, VKİ değişkeni ile yüzde 39,2 negatif yönlü anlamlı ilişki vardır. Toplam fiziksel aktivite puanı ile toplam uyku puanı değişkeni arasında istatistik açısından anlamlı bir ilişki yoktur. Uyku puanı ile antropometrik ölçümler ve fiziksel aktivite puanı arasında anlamlı ilişki elde edilmemiştir ( $p>0.05$ ).

Tablo 5. Yaşa Göre Ağırlık açısından fiziksel aktivite puanı, uyku puanı ve tüketilen enerji için farklılık analizi

Değişkenler	Yaşa Göre Ağırlık	N	Medyan	Ortalama sıra	P
Toplam Fiziksel Aktivite Puanı	Çok zayıf	9	45	240,78	,000*
	Zayıf	13	44	208,92	
	Normal	156	41	180,16	
	Kilolu veya hafif şişman	54	38	117,98	
	Şişman	68	37	85,17	
Toplam Uyku Puanı	Çok zayıf	9	42	152,44	0,944
	Zayıf	13	42	160,73	
	Normal	156	42	152,45	
	Kilolu veya hafif şişman	54	41	142,28	
	Şişman	68	42	150,34	
Enerji	Çok zayıf	9	787	44,22	,000*
	Zayıf	13	837	56,69	
	Normal	156	1019	112,5	
	Kilolu veya hafif şişman	54	1224	197,93	
	Şişman	68	1364	232,01	

Tablo 6. Yaşa göre ağırlık açısından tüketilen karbonhidrat, yağ ve protein miktarları için farklılık analizi

Değişkenler	Yaşa Göre Ağırlık	N	Medyan	Ortalama sıra	P
Karbonhidrat	Çok zayıf	9	100	47,22	,000*
	Zayıf	1	104	82	
	Normal	156	126	123,25	
	Kilolu veya hafif şişman	54	145	176,5	
	Şişman	68	154	219,13	
Yağ	Çok zayıf	9	25	58,61	,000*
	Zayıf	13	26	46,5	
	Normal	156	31	112,14	
	Kilolu veya hafif şişman	54	46	196,99	
	Şişman	68	52	233,63	
Protein	Çok zayıf	9	36	54	,000*
	Zayıf	13	43	71,04	
	Normal	156	51	126,64	
	Kilolu veya hafif şişman	54	61	191,38	
	Şişman	68	60	200,74	

Uykunun beslenme üzerine etkisi olduğu gibi, beslenmenin de uyku kalitesi üzerinde etkisi olduğu bilinmektedir. Karbonhidrat (CHO) tüketiminin uyku kalitesi ve uyku süresini etkilediği ve yüksek karbonhidratlı yemeklerin uykululuğu artırdığı tartışılmaktadır (Halsou, 2013). Yüksek karbonhidratlı

ve düşük yağlı öğünlerden sonra yavaş dalga uykusunda artış ve REM uykusunda geçirilen sürede azalma olduğu görülmüştür.

Porter ve Horne yaptığı çalışmada 6 erkek bireye yüksek karbonhidratlı (130 g), düşük karbonhidratlı (47 g) ve hiç karbonhidrat içermeyen yemekleri yatmadan 45 dk önce vermiştir. Sonuçlara bakıldığında yüksek karbonhidrat alan grubun REM uykusunda artış olurken, hafif uyku ve uyanıklığın azaldığı bulunmuştur (Porter ve Horne, 1981). Bizim çalışmamızda karbonhidrat alımı ile uyku puanı arasında ilişki incelendiğinde, karbonhidrat ile toplam uyku puanı değişkeni arasında %13.6 istatistik açısından pozitif yönlü anlamlı ilişki bulunmuş ve karbonhidrat değeri yükseldikçe uyku puanı yükseldiği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, toplam uyku

saatlerine baktığımız zaman ise enerjisi yüksek ve karbonhidratı miktarı fazla beslenen çocukların daha az uyuduğu sonucuna varılmıştır. Persentil değerlerinde normal aralıkta olan çocukların büyük kısmının 23:00-00:00 uyuduğu, şişman çocukların ise daha geç uyuduğu sonucuna varılmıştır. Crispim ve arkadaşlarının, 52 katılımcıyla yaptığı çalışmada uyku zamanından 30-60 dakika önce yüksek kalorili ve karbonhidrattan zengin öğün tüketilmesinin uyumada daha geç uymaya sebep olduğunu ortaya çıkarmıştır. Karbonhidrat miktarına ek olarak, glisemik indeksin de uyku düzenleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceği fikrini savunulmaktadır (Crispim vd., 2011).

Enerji alımı açısından bakıldığında ise çocukların ortalama gece uykusunda 2 saatlik, 21 dakikalık bir artışın, günlük tüketimden 134 kalori azalmasına, daha düşük leptin seviyeleri ve daha düşük vücut ağırlığı ile sonuçlanmasına sebep olduğu vurgulanmıştır. Bu bulgular gözlemsel çalışmalarla tutarlı olmakta ve uyku süresinin artması gıda alımının, leptinin ve vücut ağırlığının azaldığını belgelemektedir (Hart vd., 2014). Ulusal Sağlık ve Beslenme Muayene Araştırması'nda, karşılaştırılan gruplarda kısa (5-6 saat) ve uzun (> 9 saat) uyku bildiren yetişkinlerde, 7 ila 8 saatlik uyku bildiren grupta daha fazla gıda çeşitliliği ve daha düşük enerji alımı olduğu sonucuna varılmıştır (Grandner, Jackson, Gerstner ve Knutson, 2014). Bizim çalışmamızda çalışmaların sonucunu desteklemektedir ve bu alanda kanıtlanmış fikirleri güçlendirmektedir.

Uyku kalitesini etkileyen ve sağlık için risk oluşturan en önemli faktörlerden biri de fiziksel aktivitenin yeterli olmamasıdır. ABD'de yapılan 2007 Gençlik Riski Davranış Araştırması'nın sonuçlarına göre, ülke genelinde lise öğrencilerinin % 35'inin okul gününde ortalama 3 saat aktif olduğunu, % 65'inin ise önerilen fiziksel aktivite miktarlarına ulaşamadığını ortaya çıkarmaktadır (García, Díaz, Rodríguez ve Barroso, 2021). Çocukluk döneminde ise gündüz fiziksel aktivite ve uyku arasındaki ilişkiyi açıklayan kanıtlar yetersizdir. Kanada'da çocuklar üzerinde yapılan çalışma, uyku ve fiziksel aktivite arasındaki ilişkinin güne göre değiştiğini göstermiştir. Fiziksel aktivitenin yoğunluğu, hafta içi ve hafta sonu boyunca önerilen miktarda uyuyanlarda (> 9 saat), hafta boyunca düzensiz uyku miktarına sahip olanlara göre daha yüksek olduğu vurgulanmaktadır. Egzersiz, stresi azaltması, kişiyi dışarı çıkarması gibi farklı yollardan da uykuyu güçlendirebilmektedir. Sabah erken ve öğleden sonra yapılan egzersiz, vücut ısısını biraz arttırarak uyku-uyanıklık döngüsünün sıfırlanmasına ve daha sonraki birkaç saat uykusuzluğa neden olmaktadır (Ryu vd., 2015). Estonyalı ve İsveçli 2.241 genç üzerinde yapılan büyük ölçekli bir çalışma, uyku süresi ile fiziksel aktivite arasında bir bağlantı bulamamıştır (Ekstedt, Nyberg, Ingre, Ekblom ve Marcus, 2013). Bizim çalışmamızda bu sonuçları desteklemekte, uyku ve fiziksel aktivite arasında ilişki bulunmamasıyla sonuçlanmaktadır. Bizim çalışmamızda dahil olmak üzere birçok çalışmada, uyku süresi ve uyku kalitesi ölçmek için kendi kendini değerlendiren veya ebeveynlerin bildirdiği uyku anketleri kullanılmaktadır. Tahmini cevaplardan, emin olunmadığında dolayı verilen cevaplar, sonuçların doğruluk payını azaltmaktadır. Çocukluk çağında beslenme ve fiziksel aktivitenin vücut kompozisyonu ve uyku kalitesi üzerinde etkisini incelenen daha fazla çalışmalara ihtiyaç vardır. Katılımcılar için toplam fiziksel aktivite puanı, enerji, karbonhidrat, yağ açısından yaşa göre ağırlık grupları arasında anlamlı bir farklılık göstermektedir ( $p < 0.05$ ). Ortalama sıra değerlerine bakıldığında, fiziksel aktivite puanı çok zayıflarda yüksek, şişman olan çocuklarda daha düşük çıkmıştır. Toplam uyku puanı tüm çocuklarda ortalama aynıdır.

Enerji alımına bakıldığında şişman çocuklarda yüksek, çok zayıf ve zayıf çocuklarda düşüktür. Karbonhidrat, yağ ve protein alımı kilolu, şişman çocuklarda daha yüksek olmaktadır. Toplam uyku puanı ile yaşa göre ağırlık grupları arasında anlamlı bir farklılık yoktur ( $p > 0.05$ ).

## 4. Sonuç

10-12 yaş okul çocuklarında beslenme ve fiziksel aktivitenin vücut kompozisyonu ve uyku kalitesine etkisini incelemeyi hedefleyen araştırma, çocukluk dönemini olumsuz etkileyen faktörleri belirlemek için yapılmıştır. Çalışmalar doğrultusunda beslenmenin önemini vurgulamak çocukluk dönemini geliştirmek için destek olacaktır. Yapılan çalışmalara bakıldığında, tüm risk faktörlerine ilave olarak uykunun önemi net bir şekilde anlaşılmıştır.

Son dönemlerde vurgulanan uyku kalitesi ve süresi de sağlık için önemlidir. Bizim çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlara göre, özellikle okul çağı çocuklarında uykunun beslenme, vücut kompozisyonu üzerinde etkileri vardır. Çalışmamızda uykunun her dönem sağlık için tehlike oluşturan obezite ile bağlantısı vurgulanmıştır.

Yapılan çalışmalar doğrultusunda doğru adımlar atılmalı ve doğru hedefler planlanmalıdır. Beslenmenin önemini diyetisyen rolü unutulmamalıdır. Çocuklara aileden başlayan doğru beslenme alışkanlıkları kazandırılmalıdır. Erken yaşta kazandırılacak doğru alışkanlıkların, yetişkinlik döneminde sağlığını etkileyebileceği unutulmamalıdır.

Verilecek doğru beslenme ve uyku eğitimleri ile bilinçlendirilmiş ebeveynlerin çocukların sağlığındaki önemi vurgulanmalıdır. Uyku kalitesini ve süresini engelleyecek tüm davranışlar düzeltilmelidir. Bu bağlamda oluşacak riskleri emgellemek ve önemini daha iyi anlamak için yapılacak çalışmalara ihtiyaç vardır.

## Kaynakça

- Verjans-Janssen, S. R., van de Kolk, I., Van Kann, D. H., Kremers, S. P., & Gerards, S. M. (2018). Effectiveness of school-based physical activity and nutrition interventions with direct parental involvement on children's BMI and energy balance-related behaviors—A systematic review. *PloS one*, 13(9), e0204560.
- Kim, J., & Lim, H. (2019). Nutritional management in childhood obesity. *Journal of obesity & metabolic syndrome*, 28(4), 225.
- Gingras, V., Rifas-Shiman, S. L., Taveras, E. M., Oken, E., & Hivert, M. F. (2018). Dietary behaviors throughout childhood are associated with adiposity and estimated insulin resistance in early adolescence: a longitudinal study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 15(1), 1-12.
- Kjeldsen, J. S., Hjorth, M. F., Andersen, R., Michaelsen, K. F., Tetens, I., Astrup, A., ... & Sjödin, A. (2014). Short sleep duration and large variability in sleep duration are independently associated with dietary risk factors for obesity in Danish school children. *International journal of obesity*, 38(1), 32-39.
- Tolaymat, A., & Liu, Z. (2017). Sleep disorders in childhood neurological diseases. *Children*, 4(10), 84.
- Crispim, C. A., Zimberg, I. Z., dos Reis, B. G., Diniz, R. M., Tufik, S., & de Mello, M. T. (2011). Relationship between

- food intake and sleep pattern in healthy individuals. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 7(6), 659-664.
- Morrissey, B., Allender, S., & Strugnell, C. (2019). Dietary and activity factors influence poor sleep and the sleep-obesity nexus among children. *International journal of environmental research and public health*, 16(10), 1778.
- Harrex, H. A., Skeaff, S. A., Black, K. E., Davison, B. K., Haszard, J. J., Meredith-Jones, K., ... & Skidmore, P. M. (2018). Sleep timing is associated with diet and physical activity levels in 9–11-year-old children from Dunedin, New Zealand: the PEDALS study. *Journal of sleep research*, 27(4), e12634.
- Hurt, R. T., Frazier, T. H., McClave, S. A., & Kaplan, L. M. (2011). Obesity epidemic: overview, pathophysiology, and the intensive care unit conundrum. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 35, 4S-13S.
- Han, J. C. (2010). Lawlor D a, Kimm SYS. Childhood obesity–2010: progress and challenges. *Lancet*, 375(9727), 1737-48.
- Finn, K. E., Faith, M. S., & Seo, Y. S. (2018). School engagement in relation to body mass index and school achievement in a high-school age sample. *Journal of obesity*, 2018.
- Alper, Z., Ercan, İ., & Uncu, Y. (2018). A meta-analysis and an evaluation of trends in obesity prevalence among children and adolescents in Turkey: 1990 through 2015. *Journal of clinical research in pediatric endocrinology*, 10(1), 59.
- Christensen, D. L., Maenner, M. J., Bilder, D., Constantino, J. N., Daniels, J., Durkin, M. S., ... & Dietz, P. (2019). Prevalence and characteristics of autism spectrum disorder among children aged 4 years—early autism and developmental disabilities monitoring network, seven sites, United States, 2010, 2012, and 2014. *MMWR Surveillance Summaries*, 68(2), 1.
- Zhang, N., & Ma, G. (2018). Childhood obesity in China: trends, risk factors, policies and actions. *Global Health Journal*, 2(1), 1-13.
- Ricotti, R., Caputo, M., Monzani, A., Pigni, S., Antoniotti, V., Bellone, S., & Prodam, F. (2021). Breakfast Skipping, Weight, Cardiometabolic Risk, and Nutrition Quality in Children and Adolescents: A Systematic Review of Randomized Controlled and Intervention Longitudinal Trials. *Nutrients*, 13(10), 3331.
- Feye, D., Gobena, T., Brewis, A., & Roba, K. T. (2021). Adolescent Breakfast Skipping Is Associated With Poorer Academic Performance: a School-based Study From Hidhabu Abote District, Ethiopia.
- Kartal, F. T., Burnaz, N. A., Yaşar, B., Sağlam, S., & Kıymaz, M. (2019). Adölesanların Beslenme Bilgi Düzeylerinin Beslenme ve Egzersiz Alışkanlıkları Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *CBÜ Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 14(2), 280-295.
- Akman, M., Tüzün, S., & Ünalın, P. C. (2012). Adölesanlarda Sağlıklı Beslenme Ve Fiziksel Aktivite Durumu. *Nobel Medicus Journal*, 8(1).
- Ambrosini, G. L., Emmett, P. M., Northstone, K., & Jebb, S. A. (2014). Tracking a dietary pattern associated with increased adiposity in childhood and adolescence. *Obesity*, 22(2), 458-465.
- Gingras, V., Hivert, M. F., & Oken, E. (2018). Early-life exposures and risk of diabetes mellitus and obesity. *Current diabetes reports*, 18(10), 1-10.
- Barbaros, H., & Balcı, S. (2016). Küreselleşen Dünyada Çocuklarda Büyüyen Sorun: Obezite The Growing Problem Of Children In Globalized World: Obesity Barbaros, H.\* Balcı S. Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Hemşirelik E-Dergisi, 3(2).
- Oliveira, L. C., Ferrari, G. L. D. M., Araújo, T. L., & Matsudo, V. (2017). Overweight, obesity, steps, and moderate to vigorous physical activity in children. *Revista de saude publica*, 51.
- Michalopoulou, M., Gourgoulis, V., Kourtessis, T., Kambas, A., Dimitrou, M., & Gretziou, H. (2011). Step counts and body mass index among 9-14 years old greek schoolchildren. *Journal of sports science & medicine*, 10(1), 215.
- Yan-Ping, L. I., Xiao-Qi, H. U., Schouten, E. G., Ai-Ling, L. I. U., Song-Ming, D. U., Lin-Zhong, L. I., ... & Guan-Sheng, M. A. (2010). Report on childhood obesity in China (8): effects and sustainability of physical activity intervention on body composition of Chinese youth. *Biomedical and Environmental Sciences*, 23(3), 180-187.
- Keskin, K., Çubuk, A., Alpkaya, U., & Öztürk, Y. (2017). 12–14 Yaş Çocukların Fiziksel Aktivite Düzeyleri ile Beslenme Davranışları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *İstanbul Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 7(3), 34-43.
- Den Wittenboer, V. (2000). Time in bed, quality of sleep and school functioning of children. *Journal of sleep research*, 9(2), 145-153.
- Fisher, A., McDonald, L., van Jaarsveld, C. H. M., Llewellyn, C., Fildes, A., Schrempft, S., & Wardle, J. (2014). Sleep and energy intake in early childhood. *International journal of obesity*, 38(7), 926-929.
- Sekine, M., Yamagami, T., Handa, K., Saito, T., Nanri, S., Kawaminami, K., ... & Kagamimori, S. (2002). A dose–response relationship between short sleeping hours and childhood obesity: results of the Toyama Birth Cohort Study. *Child: care, health and development*, 28(2), 163-170.
- Halson, S. L. (2013). Nutritional interventions to enhance sleep. *Sports Science Exchange*, 26(116), 1-5.
- Porter, J. M., & Horne, J. A. (1981). Bed-time food supplements and sleep: effects of different carbohydrate levels. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 51(4), 426-433.
- Hart, C. N., Carskadon, M. A., Considine, R. V., Fava, J. L., Lawton, J., Raynor, H. A., ... & Wing, R. (2013). Changes in children's sleep duration on food intake, weight, and leptin. *Pediatrics*, 132(6), e1473-e1480.
- Grandner, M. A., Jackson, N., Gerstner, J. R., & Knutson, K. L. (2014). Sleep symptoms associated with intake of specific dietary nutrients. *Journal of sleep research*, 23(1), 22-34.
- García, P. J. C., Díaz, A. L., Rodríguez, J. G., & Barroso, J. G. (2021). Exploring food and physical activities between grandparents and their grandchildren. *Explorando comidas y actividades físicas entre abuelos y sus nietos. Anuario de Psicología/The UB Journal of Psychology*, 51(2).
- Ryu, J. Y., Lee, J. S., Hong, H. C., Choi, H. Y., Yoo, H. J., Seo, J. A., ... & Choi, K. M. (2015). Association between body size phenotype and sleep duration: Korean National Health and Nutrition Examination Survey V (KNHANES V). *Metabolism*, 64(3), 460-466.
- Ekstedt, M., Nyberg, G., Ingre, M., Ekblom, Ö., & Marcus, C. (2013). Sleep, physical activity and BMI in six to ten-year-old children measured by accelerometry: a cross-sectional study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 10(1), 1-10.





# Pandemi Koşullarında Otel Seçimiyle İlgili TOPSIS Tabanlı Bir Karar Verme Yaklaşımı

Sezin Gülerüz<sup>1\*</sup>, Abdullah Uluçay<sup>2</sup>, İrfan Mert Yavuz<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Bartın Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Bartın, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9858-7115), sezinguleryuz@gmail.com

<sup>2</sup> Bartın Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Bartın, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5493-2618), abduallah.ulucay97@gmail.com

<sup>3</sup> Bartın Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Bartın, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1078-3892), mymertyvz@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 15 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010387)

**ATIF/REFERENCE:** Gülerüz, S., Uluçay, A. & Yavuz, İ. M. (2021). Pandemi Koşullarında Otel Seçimiyle İlgili TOPSIS Tabanlı Bir Karar Verme Yaklaşımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 951-956.

## Öz

Covid-19'un küresel ölçekte turizm sektörünü etkileyerek özellikle otel endüstrisi üzerinde büyük kayıplara neden olduğu yapılan çalışmalarca tespit edilmiştir. Ülkelerin sosyal ve ekonomik yapısını etkileyen Covid-19, daha önce turizm sektörü için benzeri görülmemiş bir durum olarak nitelendirilmiştir. Sosyal mesafe, ev karantinası, seyahat kısıtlamaları, sınırların kapatılması gibi çeşitli önlemler turizm ve konaklama tesislerinin faaliyetlerini durma noktasına getirmekte ve bazı tesislerin geçici olarak kapatılmasına neden olabilmektedir. Günümüz pandemi koşullarında müşteriler kalacakları oteli seçerken pandemi öncesi durumdan farklı bir yaklaşım sergileme eğilimindedirler. Pandemi koşullarına uygunluk, hijyen, covid-19'a karşı alınan önlemler, müşterilerin konaklama tercihlerini etkileyerek otel seçim süreçlerini etkilemektedir. Bu karar sürecinde, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) yöntemi kullanılarak pandemi şartlarında Türkiye turizm bölgelerindeki 7 büyük otelin aldığı önlemler incelenerek sonuçlar analiz edilmiş ve en güvenilir otel seçilmiştir. Çalışmanın özgünlüğü, literatürde sıklıkla kullanılan TOPSIS yönteminin, pandemide otel seçimi problemine yönelik gerçek bir vaka çalışmasında ilk kez uygulanmasından kaynaklanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Covid-19, Çok Kriterli Karar Verme, Topsis, Otel Seçimi

## A TOPSIS-Based Decision Making Approach for Hotel Selection in Pandemic Conditions

### Abstract

It has been determined by studies that Covid-19 affects the tourism sector on a global scale and causes great losses especially on the hotel industry. This pandemic, which affects the social and economic structure of the countries, has previously been described as an unprecedented situation for the tourism industry. Various precautions such as social distance, home quarantine, travel restrictions, closure of borders bring tourism and accommodation facilities activities to a standstill and may cause some facilities to be temporarily closed. In today's pandemic conditions, customers tend to take a different approach than the pre-pandemic situation when choosing a hotel to stay. Compliance with pandemic conditions, hygiene, measures taken against covid-19 affect customers' accommodation choices and affect hotel selection processes. In this decision process, using TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) method, which is one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) techniques, the measures taken by 7 big hotels in Turkey's tourism regions were examined under pandemic conditions, and the results were analyzed and the most reliable hotel was selected. The originality of the study stems from the fact that TOPSIS technique, which is frequently used in the literature, was applied for the first time in a real case study for the hotel selection in pandemic conditions.

**Keywords:** Covid-19, Multi Criteria Decision Making, Topsis, Hotel Selection

\* Sorumlu Yazar: Sezin Gülerüz, e-mail [sezinguleryuz@gmail.com](mailto:sezinguleryuz@gmail.com)

## 1. Giriş

Dünya genelinde Covid-19 salgını başladıktan sonra insanların yaşam şekilleri ve alışkanlıkları değişim göstermiştir. Bu değişimden turizm sektörü ve tatil alışkanlıkları da büyük ölçüde etkilenmiştir. Turizm sektörü için çok büyük bir kriz olan bu salgında insanların gidecekleri otellerin aldıkları önlemler büyük ölçüde önem kazanmıştır.

Değişen turizm şartlarında insanların yer seçimi, otel seçimi, otel uygunluğu ve ulaşım kısıtlaması her bakımdan önem kazanmıştır. Otellerin belirli kriterlere uyarak aldığı güvenli turizm sertifikası, planlama sürecinde insanların pandemi koşullarında otel seçimlerindeki en önemli kısıttır. Otellerin resmi web sitesinde bulunan bu sertifika ve sitedeki pandemi genelgesi insanlarla paylaşılarak otel güvenilirliğini sağlamak amaçlanmıştır. Otel seçimindeki karar verme, otellerin resmi web sitesindeki pandemi önlemleri insanlar için önem arz etmektedir. Pandemi koşullarında yapılan değerlendirmenin önem derecesi hijyen, dezenfekte işlemi, yeme-içme, toplu alan kullanımı ve genel değerlendirme öne çıkmaktadır.

Otel seçimi kavramını daha iyi değerlendirebilmek için niteliksel ve niceliksel tüm faktörleri ele almak gerekir. Bu yüzden tanımlanan kriterler doğrultusunda en uygun otel seçimi, çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemi olarak ele alınabilir. Bu çalışmada, Covid-19 şartlarında en ideal otel seçimini literatürde sıklıkla kullanılan ÇKKV tekniklerinden Technique for Order Preference to Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) (Hwang ve Yoon, 1981) kullanılarak, otellerin ideal sıralaması yapılmış ve uygunlukları belirlenerek sonuç sıralaması elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında ilk aşamada, yapılan literatür taraması ve uzman görüşleri ile seçim kriterleri belirlenmiş ve değerlendirme modeli geliştirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında otel seçimi problemi için ÇKKV metodları incelenmiş, ideal ve anti ideal çözümde anlık değerlendirme olanağı sağlayan ve kolay programlanabilir sayısal sürece sahip olması gibi birçok avantajı bulunan TOPSIS seçilerek, Türkiye turizm beldelerinden Antalya bölgesinde bulunan oteller baz alınarak 7 otel değerlendirilmeye alınmıştır. Bu otellerin pandemi koşullarına göre tercih edilme olanakları göz önünde bulundurularak sıralama yapılmıştır. Çalışmanın uygulama aşamasında Trivago ve Etstur gibi çevrimiçi seyahat sitelerinde yapılan müşteri yorumlarından faydalanılarak otel güvenilirliği, müşteri bakış açısıyla değerlendirilmiştir.

Çalışmanın literatüre katkısı, pandemi koşullarını dikkate alarak otel seçim problemi için TOPSIS metodu ilk kez gerçek bir vaka çalışmasıyla uygulanması ve benzer durumlarda olan karar vericilere rehberlik etmesi şeklinde özetlenebilir.

Makale aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir: otel seçimi ile ilgili oluşturulan kriterler ve literatür taraması ikinci bölümde özetlenmiştir. İlaveten yine ikinci bölümde otel seçiminde kullanılan ÇKKV yöntemleri ele alınmıştır ve pandemi ile ilgili olan çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde kullanılan metodoloji adımlar yardımıyla sunulmuştur. Son bölümde uygulama adımlarının çıkarımları ve sonuçlar verilmiştir.

## 2. Literatür Taraması

### 2.1. Otel Seçimi ve Önerilen Değerlendirme Kriterleri

İncelenen otel seçimi ile ilgili yazın, Trivago ve Etstur gibi çevrimiçi seyahat siteleri ve uzmanların sundukları görüşler öncülüğünde 7 ana kriter belirlenmiştir.

**Hijyen ve temizlik:** Hijyen, sağlığın korunması ve hastalıkların yayılmasının önlenmesine yardımcı olan koşul ve uygulamaları ifade eder. Demir vd. (2021) çalışmasında hijyenin otel işletmelerinin sağlıklı ve güvenli ortam oluşturması için önemli olduğunun altını çizmiştir. Günümüzde Covid-19 salgını nedeniyle müşteriler için otelin hijyen bakımından güvenilir olması en çok dikkat edecekleri hususlardandır (Yu vd., 2018; Roy vd., 2019).

**Otel ücreti:** Fiyat, bir odanın konaklama ücretini ifade eder. Sınırlı sayıda müşteri ağırlayacak olması ve pandemi nedeniyle girdi maliyetlerinin artması oda fiyatlarını etkilemektedir (Yu vd., 2018; Roy vd., 2019; Sürücü vd., 2020). Otel ücreti ve performans kriteri "Etstur ve Trivago" resmi web sitesinden alınan yorumlar ve puanlara göre değerlendirmeye alınmıştır. Otelin oda özellikleri otel ücreti konusunda en önemli etkenlerdendir. Odalarda günlük çarşaf değişimi yapılırken, dezenfekte işlemi, tek kullanımlık kişisel bakım ürünleri bulunmaktadır.

**Coğrafi Lokasyon:** Otelin konumu merkezi yerlere yakın olması müşteriler için en önemli hususlardan bir tanesidir (Aksoy ve Ozbuk, 2017; Yu vd., 2018; Kwok ve Lau, 2019; Roy vd., 2019; Sürücü vd., 2020). Müşteriler için havaalanına yakınlık, tarihi yerler ve koyalara yakın olması otel seçimi karar verme sürecinde büyük etki oluşturmaktadır.

**Otelin Fiziksel Özellikleri:** Otelin sahip olduğu tüm fiziksel özellikleri ifade eder (Yu vd., 2018; Roy vd., 2019). Fiziksel özellikleri de kapsayan bazı önlemler sıralanmıştır. Otelerde toplu alan kullanımının en önemli en kalabalık olduğu yerler sahiller ve havuzlar olarak belirlenmiştir. Havuzlar ve sahillerde müşterilerin kendi havluları veya tek kullanımlık havlu kullanmaları gereklidir. Lobide maske kullanım zorunluluğu, temassız ödeme ve termal ateş ölçer ile kontroller yapılmakta ve gerekli önlemler alınmaktadır. Restoranlarda açık büfe önlerinde bariyer çekilerek sosyal mesafeye uydukları belirlenmiştir. Açık büfelerde personel bulundurularak kalabalığı engellenmek hedeflenmiştir. Restoranlarda kullanılan çatal, kaşık, tabak, bardak vs. gibi araç gereçler her kullanımdan sonra dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilerek yıkandığı öngörülmüştür.

**Müşteri İlişkileri:** Otellerin resmi web sitelerinde yayımladıkları pandemi koşulları hakkında alınan önlemleri ve müşteri ilişkilerini kapsayan kriterdir. Müşterilerin otele girişlerinde otelin aldığı pandemi kuralları hakkında bilgilendirilmesi, müşterilerin gerekli testlere tabi tutulması ve önlemlere uymama koşulunda yapılacakları kapsamaktadır (Kıvılcım; 2020).

**Personel:** Otellerin resmi web sitelerinden edinilen bilgilere göre personelin maske kullanımı, eldiven kullanımına dikkat ettikleri öngörülmüştür. Kültür Turizm Bakanlığı ve Sağlık Bakanlığının açıklamasında yer alan bilgiye göre Turizm sektöründe çalışan kişiler aşılanmıştır (Kıvılcım; 2020).

**Tavsiye Edilme:** Otellerin tavsiye edilme puanı ve yorumları Etstur ve Trivago internet siteleri üzerinden alınmıştır. Daha önce

konaklama yapan müşterilerin olumlu ve olumsuz yorumları müşterilerin karar verme süreçlerini etkilediği düşünülmektedir. Olumlu sonuçlar yeni gelecek müşteriler için tavsiye niteliği sağlamaktadır (Yu vd., 2018; Kwok ve Lau, 2019; Roy vd., 2019 Sürücü vd., 2020). Müşterilerin bu yorumlarda en çok dikkatini çeken hususlar otellerin pandemi koşullarında aldıkları önlemlere uyup uymadıklarıdır.

## 2.2. Otel Seçiminde Kullanılan ÇKKV Teknikleri

Literatürde farklı alanlarda uygulanan çeşitli ÇKKV yöntemleri bulunmaktadır (Bulak vd., 2021; Kekilli vd., 2021). ÇKKV, birden fazla disiplinin bir arada var olmasına ve karar vericilerin farklı boyutlarda değerlendirilmesine, ve en olası kararın bulunmasına olanak sağlar (Gavcar ve Kara, 2020; Yiğit vd., 2021). Karar verme yöntemleri arasında, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Elimination and Choice Translating Reality English (ELECTRE), TOPSIS, Preference sıralama organizasyon metodu zenginleştirme değerlendirmesi (PROMETHEE) ve VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) literatürde en sık kullanılan yöntemlerdir (Güleryüz, 2020). Çalışmada ele alınan TOPSIS yöntemi, farklı kriterlere bağlı olarak değerlendirilen alternatifler arasından seçim yapılması ve alternatiflerin sıralanmasına imkan sağlayan kullanışlı bir tekniktir.

Literatürde pandemi koşulları ve otel seçimi ile ilgili birçok makale bulunmaktadır. Chen vd. (2012) çalışmalarında iki aşamalı bir yaklaşım uygulayarak otel değerlendirmesi yapmışlardır. Birinci aşamada Delphi tekniği kullanılmış sonrasında AHP ve Bulanık AHP yöntemi kullanılarak değerlendirmeler sunulmuştur. Kundakçı vd. (2015) AHP tekniğini kullanarak otel kuruluş yeri seçimi üzerine çalışmışlardır. Sarıçalı ve Kundakçı (2016) tatil için otel alternatiflerini değerlendirmek amacıyla AHP ve COPRAS yöntemlerini kullanarak en iyi alternatifi seçmişlerdir. Zaman vd. (2016) AHP yöntemi kullanılarak Paris'te 250 turiste anket yapılmıştır. Bu anket sonucunda AHP ile otel seçimi uygulanmasının kolaylaştırılması hedeflenmiştir. Ecemiş ve Yaykaşlı (2018) yapmış oldukları çalışmada ziyaretçilerin kriterlere verdikleri önem derecesi TOPSIS yöntemi ile bulunmuş ve Antalya bölgesinde yer alan 140 otel değerlendirilmiştir. Öztel, Karakaş ve Aslan (2018) İstanbul'da faaliyet gösteren beş yıldızlı oteller arasından bulanık TOPSIS tekniğiyle 10 kriter kullanarak otel seçimi yapmışlardır. Çaylak (2019) Antalya'da bulunan 11 farklı otelin değerlendirilmesini TOPSIS yöntemi kullanarak en iyi sonucu hesaplamıştır. Kwok ve Lau (2019) yapmış oldukları çalışmada ziyaretçilerin otel seçimleri için Belirsiz Küme TOPSIS tekniğini uygulamışlardır. Sürücü vd. (2020) Afyonkarahisar'da bulunan termal otellerin seçimi Bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak otel seçiminin nasıl yapılacağı analiz edilmiştir. Bahar ve İlal (2020), yaptıkları çalışmada daha önce yaşanan krizlerin turizm etkisi ve Covid-19 salgınının turizm etkisini incelemişlerdir. Acar (2020), Dünya Turizm Örgütü'nün (WTO) Covid-19 salgını kapsamında hazırladığı raporda, ülkelerin ekonomik açıdan aldıkları zarar turizm sektörünü doğrudan etkilemiştir. Yapılan çalışmada bu etkiler incelenerek çıkarımlar yapılmıştır. Chang vd. (2020), Covid-19 salgınında turizmden kaynaklanan seyahat, konaklama ve misafirperverlik olumsuz derecede etkilenmiştir. Bu makalede Covid-19 salgını sonrası turizm ve seyahat için öngörude bulunulmuştur. Kıvılcım (2020), Covid-19 salgınında turizm sektörü her açıdan olumsuz etkilenmiş ve buna karşın değişim göstermiştir. Çalışmada, Covid-19 sonrası oluşacak olası yenilik

ve değişimlerden bahsedilmiştir. Ulucan (2020) yapmış olduğu çalışmada otel yeri seçimi için bulanık TOPSIS yaklaşımı kullanmışlardır. Arancioğlu vd. (2021) yılında yapılan araştırmada Covid-19 salgını sırasında üniversite öğrencilerinin stres ve beslenme durumları değerlendirilmiştir. Demir vd. (2021) pandemi koşulları dikkate alınarak müşterilerin otel seçimlerini nasıl etkilediği ve alınan önlemleri sunmuştur. Demirebilek (2021) yapılan araştırmada Okul/İş yeri kapatılmasının Covid-19 kaynakları vaka sayılarına etkisi göz önünde bulundurularak altı farklı ülkenin Covid-19 istatistikleri alınarak hesaplanmıştır. Bozkurt (2021) yapılan araştırmada Covid-19 salgını taşıyan hastaların x-ray tomografi cihazları kullanılarak daha hızlı tespit edildiği vurgulanmıştır.

Yukarıdaki bilgilere göre, araştırmacılar çeşitli uygulama alanlarında ve farklı tekniklerle çalışmaktadırlar. Yayınlarında yazarlar pandemide seçim problemini modellemiş, gerçek uygulamada ise çalışmalar daha sınırlı kalmıştır. Dolayısıyla literatürde pandemi ele alınarak gerçek uygulamalarda otel seçiminde halen boşluk tamamlanmamıştır. Ayrıca otel seçimiyle ilgili çalışma olmasına rağmen, uzman görüşü ve web sitelerindeki bilgileri ve değerlendirmeleri pandemi süresince baz alan çalışmaya yazında rastlanmamıştır. Böylelikle çalışmanın literatürdeki boşluğu doldurması planlanmaktadır.

## 3. Metodoloji

Bu bölüm, çalışmada kullanılan metodolojiyi kısaca sunmaktadır.

### 3.1. TOPSIS

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS yılında Hwang ve Yoon tarafından çözüm alternatifinin, pozitif ideal çözüm noktasına en kısa mesafe ve negatif ideal çözüm noktasına en uzak mesafede olduğu varsayımına göre oluşturmuşlardır (Hwang ve Yoon, 1981). Bu yöntemde 'k' sayıda alternatif 'n' sayıda kriter belirlenerek, maksimum ve minimum ideal değerler karşılaştırılarak en uygun çözüme ulaşılması hedeflenmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{21} & a_{22} & a_{32} \\ a_{31} & a_{23} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

**Adım 1:** Başlangıç matrisi oluşturulmuştur (1).

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n a_{kj}^2}} \quad (2)$$

( $r_{ij}; i, : 1,2, \dots, n; kriter Sayısı j: 1,2, \dots, k; alternatif sayısı$ )

**Adım 2:** Karar matrisi oluşturulduktan sonra (2) ile normalizasyon işlemi gerçekleştirilir.

**Adım 3:** Ağırlıklandırılmış normalize matris elde edildikten sonra (3), (4) ile ideal olan ve olmayan çözüm değerleri elde edilir.

$$A^* = \{(\max_i v_{ij} \mid j \in J), \{(\min_i v_{ij} \mid j \in J')\} \quad (3)$$

$$A^- = \{(\min_i v_{ij} \mid j \in J), \{(\max_i v_{ij} \mid j \in J')\} \quad (4)$$

**Adım 4:** ideal olan ve ideal olmayan noktalar arasındaki uzaklık (5), (6) ile hesaplanır.

$$S_j^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (5)$$

$$S_j^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (6)$$

**Adım 5:** Her bir karar noktası ideal çözüm olan göreceli yakınlığı hesaplamasında (7) kullanılır ve en uygun alternatif seçilir.

$$C_i^* = \frac{S_j^-}{S_i^- + S_i^*} \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad (7)$$

#### 4. Uygulama

Adım 1: Karar vericilerin belirlenmesi ve değerlendirme modelinin oluşturulması. Yapılan değerlendirmelerde elde edilen kriterler ve uzmanların belirledikleri ağırlıklar Tablo 1’de verilmiştir. HJ: Hijyen, OÜ: Otel ücreti, CL:Coğrafi lokasyon, OFÖ: Otelin fiziksel özellikleri, Mİ: Müşteri ilişkileri, PE: Personel ve TE: Tavsiye edilme kriterlerini göstermektedir. Alternatifler Rixos Beldibi (O1), Susesi Luxury Resort (O2), Akka Antedon Hotel (O3), Voyage Belek Golf & Spa (O4), Kaya

Palazzo Golf Resort (O5), Selectum Luxury Resort (O6), Regnum Carya Belek (O7) olarak belirlenmiştir.

Adım 2: Karar matrisinin (O) oluşturulması. Otelin kriterleri belirlenerek bu kriter puanları “Trivago” ve “Etstur”dan alınmıştır. Tablo 1’de kriter ağırlıkları ve Tablo 2’de karar matrisi gösterilmiştir.

Adım 3: Karar matrisi oluşturulduktan sonra normalleştirilmiş karar matrisini oluşturmak için (2) numaralı formül kullanılmıştır. Normalleştirilmiş karar matrisi Tablo 3’te verilmiştir.

Adım 4: Ağırlıklı karar matrisinin oluşturulması. Kriter ağırlık değeri ile Tablo 2’de oluşturulan karar matrisinin her bir sütundaki değerleri çarpılarak ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi elde edilir. Tablo 4’te gösterilmiştir.

Adım 5: İdeal  $A^+$  ve Negatif ideal ( $A^-$ ) çözümlerinin oluşturulması. İdeal çözüm ağırlıkları en iyi performans sonuçlarını gösterirken negatif ideal çözüm en kötü sonuçları gösterir. Tablo 5’te gösterilmiştir.

Adım 6: İdeal çözümden uzaklığı ideal ayırım( $x^+$ )ve negatif ideal çözüme uzaklığı ideal ayırımı ( $x^-$ ) 5 ve 6 numaralı denklem kullanılarak Tablo 6’da gösterilmiştir.

Adım 7: Bu adımda ideal çözüme yakınlık hesaplanmıştır.

Adım 8: En uygun otellerin sıralaması belirlenerek Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 1: Kriter Ağırlıkları

Kriter	HJ	OÜ	CL	OFÖ	Mİ	PE	TE
Ağırlık	0.20	0.12	0.15	0.15	0.10	0.15	0.13

Tablo 2: Karar Matrisi

Alternatifler	HJ	OÜ	CL	OFÖ	Mİ	PE	TE
<b>Rixos Beldibi (O1)</b>	9.2	8.3	9.8	8.6	8.2	8.4	8.6
<b>Susesi Luxury Resort (O2)</b>	9.1	8.6	8.7	8.6	9.0	8.7	8.9
<b>Akka Antedon Hotel(O3)</b>	8.8	8.7	9.7	8.2	8.9	8.5	9.3
<b>Voyage Belek Golf &amp; Spa (O4)</b>	9.3	8.9	9.7	8.2	9.6	8.9	9.6
<b>Kaya Palazzo Golf Resort (O5)</b>	8.7	9.0	9.9	8.5	9.6	8.6	9.3
<b>Selectum Luxury Resort (O6)</b>	9.0	8.1	9.7	8.5	9.5	8.8	8.7
<b>Regnum Carya Belek (O7)</b>	9.5	8.9	8.2	8.7	9.4	9.3	9.0

Tablo 3: Normalleştirilmiş Karar Matrisi

	HJ	OÜ	CL	OFÖ	Mİ	PE	TE
<b>O1</b>	0,382	0,362	0,393	0,372	0,337	0,362	0,358
<b>O2</b>	0,378	0,375	0,349	0,385	0,370	0,375	0,370
<b>O3</b>	0,365	0,380	0,389	0,367	0,366	0,367	0,387
<b>O4</b>	0,386	0,388	0,388	0,367	0,395	0,38	0,399
<b>O5</b>	0,36	0,393	0,397	0,381	0,395	0,371	0,387
<b>O6</b>	0,374	0,353	0,389	0,381	0,390	0,380	0,366
<b>O7</b>	0,395	0,388	0,329	0,390	0,386	0,401	0,374



Tablo 4: Ağırlıklı Normalleştirilmiş Karar Matrisi

<b>Max</b>	0,079	0,047	0,059	0,058	0,039	0,060	0,051
<b>Min</b>	0,072	0,042	0,049	0,055	0,033	0,05	0,046

Tablo 5: Negatif ve Pozitif İdeal Çözümler

	HJ	OÜ	CL	OFÖ	Mİ	PE	TE
<b>O1</b>	0,076	0,043	0,059	0,05	0,033	0,054	0,046
<b>O2</b>	0,075	0,045	0,052	0,057	0,037	0,056	0,048
<b>O3</b>	0,073	0,045	0,058	0,055	0,036	0,055	0,050
<b>O4</b>	0,077	0,046	0,058	0,055	0,039	0,057	0,051
<b>O5</b>	0,072	0,047	0,059	0,057	0,039	0,055	0,050
<b>O6</b>	0,074	0,042	0,058	0,057	0,039	0,057	0,047
<b>O7</b>	0,079	0,046	0,049	0,058	0,038	0,060	0,048

Tablo 6: Ayrım Ölçümleri

Ayrım Ölçümleri	X <sup>+</sup>	X <sup>-</sup>
<b>O1</b>	0,105	0,102
<b>O2</b>	0,100	0,084
<b>O3</b>	0,096	0,103
<b>O4</b>	0,068	0,118
<b>O5</b>	0,091	0,115
<b>O6</b>	0,092	0,106
<b>O7</b>	0,103	0,108

Tablo 7: Otel Sıralaması

Otel Adı	Sonuç
1 Voyage Belek Golf&Spa	<b>0,632</b>
2 Kaya Palazzo Golf Resort	<b>0,559</b>
3 Selectum Luxury Resort	<b>0,535</b>
4 Akka Antedon Hotel	0,517
5 Regnum Carya Belek	0,509
6 Rixos Beldibi	0,493
7 Susesi Luxury Resort	0,456

## 5. Sonuç

Günümüzde çevrimiçi otel seçiminde kullanıcıların otellerin puanları ve diğer müşteri yorumlarından etkilenerek seçim yaptığı öngörülmüştür. Bunun yanı sıra bulunduğumuz pandemi döneminde müşteriler için güvenli turizm sertifikası gibi yeni kriterler ön plana çıkmıştır. Türkiye'deki oteller Kültür ve Turizm Bakanlığı ve Sağlık Bakanlığı'nın yayımladığı ortak genelge ile pandemi koşullarını uygulamak koşuluyla bu sertifikayı almayı hak etmişlerdir.

Çalışmada Etstur ve Trivago sitelerinde yer alan Hijyen, Otel Ücreti, Coğrafi Lokasyon, Otelin Fiziksel Özellikleri, Müşteri İlişkileri, Personel ve Tavsiye Edilme değerlendirilme kriterleri olarak ele alınmıştır. Web sitelerinde bulunan Müşteri ilişkileri kriteri otelin Genel Puanı ile değerlendirilmiş, Otelin Fiziksel özellikleri ise Otelin Bina puanı dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Coğrafi Lokasyon otelin konumu ve önemli

yerlere (Ulaşım, Tarihi yerler, Merkezi yerleşim) yakınlık baz alınarak bu değerlendirme yapılmıştır.

Araştırma kapsamında ele alınan ve Antalya'da bulunan 7 otelin kriterleri "Trivago, Etstur ve uzman görüşlerinden" yararlanarak değerlendirilmiş ve en uygun otel TOPSIS yöntemiyle seçilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre otel sıralamasında Voyage Belek Golf & Spa en uygun otel olarak belirlenmiş sonrasında Kaya Palazzo Golf Resort ve Selectum Luxury Resort sırasıyla analizde yerini almıştır.

Çalışmada görüşlerini sunan uzmanlara göre en önemli kriterin "hijyen" olduğu görülmüştür. Özellikle tüm dünyada etkisini gösteren Covid-19 pandemi sürecinde insanların hijyen konusundaki farkındalığının arttığı ve otel seçiminde önem verdiği kriterlerin başında geldiği düşünülmektedir. Literatür incelendiğinde seçilen kriterlerin önem düzeylerinde farklılıklar olduğu görülmüştür. Sürücü ve arkadaşları (2020) "müşteri yorumları" kriterinin araştırmalarında en önemli kriterler olarak belirlenmişlerdir. Bu bağlamda kriterlerin önem derecesinin

seçilen uzmanlara veya karar vericilere göre değişebileceği söylenebilir.

Literatürde yayınlanan çalışmalardan örneğin Çaylak (2019) TOPSIS yöntemiyle otel seçimini ele almış ancak farklı kriterler dikkate alarak değerlendirme yapmıştır. Diğer çalışmalardan ayrılan nokta, bu çalışmada literatürde ilk kez pandemi koşulları da dikkate alınarak gerçek bir uygulamayla en uygun otel seçimi yapılmıştır.

Araştırma sürecinde karşılaşılan bazı sınırlamalar bulunmaktadır. Nihai sonuçların karar vericinin görüşlerini yansıttığı ve ideal durumların karar vericiye bağlı olduğu durumlarda belirlenen sonuçlarda oluşabilecek sapmalar çalışmada dikkate alınmamıştır. Bu durumun etkisini ortadan kaldırmak ve gelecek çalışmalar için ya daha fazla uzman görüşünden faydalanmak gerekmekte ya da diğer ÇKKV yöntemlerinden küresel bulanık TOPSIS yöntemi ile karşılaştırmalı analiz yapılması hedeflenmektedir.

## 6. Teşekkür

Otellerin resmi web siteleri, EtsTur ve Trivago'nun paylaştıkları otel bilgileri için teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca, Rixos Otel Beldibi'nde görevli uzman sayın Esra Karabulut'a verdiği değerli bilgiler için teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Acar, Y . (2020). Yeni Koronavirüs (COVID-19) Salgını ve Turizm Faaliyetlerine Etkisi. *Güncel Turizm Araştırmaları Dergisi*, 4 (1) , 7-21.
- Aksoy, S. ve Ozbuk, M. Y. (2017). Multiple criteria decision making in hotel location: Does it relate to postpurchase consumer evaluations. *Tourism Management Perspectives*, 22, 73-81.
- Bahar, O , Çelik İlal, N. (2020). Coronavirüsün (Covid-19) turizm sektörü üzerindeki ekonomik etkileri. *International Journal of Social Sciences and Education Research*, 6 (1) , 125-139.
- Bozkurt, F. (2021). Derin Öğrenme Tekniklerini Kullanarak Akciğer X-Ray Görüntülerinden COVID-19 Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ejosat Özel Sayı 2021 (ARACONF), 149-156.
- Bulak, M. E., Kozanoğlu, O., Aydoğduoğlu,Ş. N., Göçer, F., ve Algül, R. (2021). E-Ticaret sitelerinin kullanılabilirliğinin AHP ve TOPSİS yöntemleriyle karşılaştırılması. *European Journal of Science and Technology*, (26), 493-509.
- Chang, C.-L., McAleer, M. ve Ramos, V. (2020). COVID-19 Sonrası Sürdürülebilir Turizm Sözleşmesi, Sürdürülebilirlik, 12 (9), 3671.
- Chen, YC., Yu, TH. ve Tsui, PL. (2014). Uluslararası otel spa atmosferi değerlendirme modeli oluşturmak için bulanık bir AHP yaklaşımı. *Quality & Quantity*, 48, 645-657.
- Çaylak, M. (2019). Topsis yöntemi ile en uygun otel seçimi. *Oğuzhan Sosyal Bilimler Dergisi*, 1 (2), 65-76.
- Demir, M., Demir, Ş., Ergen, F. ve Dalgıç, A. (2021). Covid-19 sürecinde tüketicilerin otel seçimini etkileyen faktörler. *International Journal of Social Sciences and Education Research*, 7 (1), 82-94.
- Demirbilek, M. (2021). The effect of school/workplace closures on COVID-19 related incidents. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 62-69 .
- Ecemiş, O., Yaykaşlı, M. (2018). Topsis yöntemiyle otel seçimine yönelik bir karar destek sistemi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 74, 326-337.
- Gavcar, E., Kara, N. (2020). Elektrikli Otomobil Seçiminde Entropi ve TOPSIS Yöntemlerinin Uygulanması. *İş ve İnsan Dergisi*, 7 (2), 351-359.
- Güleryüz, S. (2020). Evaluation of Product Development Partner Selection Process Using Multi Criteria Decision Making Approach. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 307-311.
- Hwang, C.L. ve Yoon, K.P. (1981). *Multiple attribute decision-making: Methods and application*, Springer, New York.
- Kekilli, E., Cebeci, U. ve Sılay, L. (2021). Selection of VFQ Consultant by Using Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS. *European Journal of Science and Technology*, (24), 262-267. Kwok, P. K. ve Lau, H. Y. (2019). Hotel selection using a modified TOPSIS-based decision support algorithm. *Decision Support Systems*, 120, 95-105.
- Kundakcı, N., Adalı Aytaç, E., ve Tuş Işık, A. (2015). Tourist hotel location selection with analytic hierarchy process. *Journal of Life Economics*, 5, 47-58.
- Özay Arancioğlu, İ. , Yılmaz, H. K. , Ergüden, B., Derya İpek, K. Yıldırım, Ç. ve Bora, S. (2021). Evaluation of Stress and Nutrition Status of University Students During the Covid-19 Outbreak, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 707-714 .
- Öznel, A., Karakaş, A. ve Aslan, A. (2018). Green star hotel selection with fuzzy TOPSIS method: Case of Istanbul. *Recent Researches on Social Sciences*, 473.
- Sarıçalı, G., Kundakçı, N. (2016), AHP ve Copras yöntemleri ile otel alternatiflerinin değerlendirilmesi. *International Review of Economics and Management (IREM)*, 4 (1), 45-66.
- Sürtücü, Ç , Yavuz, H , Öznel, A . (2020). Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Termal Otel Seçimi: Afyonkarahisar Örneği . Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11 (21) , 22-38.
- Yiğit, M.E. ve Akpınar M.E. (2021). Rüzgar türbin kulesi alternatiflerinin çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 386-393.
- Ulucan, E. (2020). Otel yeri seçimi: Faktörlere göre bulanık TOPSİS ile konum belirleme. *European Journal of Tourism, Hospitality and Recreation*, 10(3), 213-228.
- Yu, S. M., Wang, J., Wang, J. Q. ve Li, L. (2018). A multi-criteria decision-making model for hotel selection with linguistic distribution assessments, *Applied Soft Computing*, 67, 741-755.
- Zaman, M., Botti, L. ve Thanh, T. (2016). Otel seçiminde kriterlerin ağırlığı: TripAdvisor kriterlerine dayalı ampirik bir örnek. *European Journal of Tourism Research* , 13, 132 -138.



# Conceptual Difficulties Encountered by Science Teacher Candidates in Static Electricity

M. Said Doğru \*

\* Kastamonu University, Araç Rafet Vergili Vocational School, Kastamonu, Turkey, (ORCID: 0002-9516-1442), msaid.dogru@yahoo.com

(First received 11 April 2021 and in final form 12 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.913290)

**ATIF/REFERENCE:** Doğru, M. (2021). Conceptual difficulties encountered by Science teacher candidates in static electricity. *European Journal of Science and Technology*, (31), 957-967.

## Abstract

Static electricity is an introduction to electricity in all high school and university Physics textbooks. Definitions of static electricity phenomena are not clear, including in higher education. This research was conducted to determine the fundamental difficulties that teacher candidates encounter in explaining static electricity. They conducted electrostatic experiments focusing on different electricity in the Introduction's context to Physics Laboratory Lesson. At the end of the class, the data were collected through the reports they wrote. The qualitative content analysis method was used in the analysis of the data. The convenient sample comprises 400 science teacher candidates (270 girls and 130 boys). The analysis showed that teacher candidates had significant difficulties in conceptualizing the microscopic processes - with inductive loading - that explain this phenomenon. Some observe that the different roles played by electrons in conductors and insulators pose difficulties for science teacher applicants. The findings emphasized microscopic models during macroscopic experimental processes. This may help teacher candidates to understand the role of electrons in conductors and insulators and the different mechanisms involved in electrification.

**Keywords:** Conceptual challenges, teacher candidates, content analysis, static electricity

## Fen Bilgisi Öğretmen Adaylarının Statik Elektrik Konusu İle İlgili Karşılaştıkları Kavramsal Zorluklar

### Öz

Statik elektrik, tüm lise ve üniversite Fizik ders kitaplarında elektriğe giriş bölümüdür. Statik elektrik olaylarının tanımları, yüksek öğrenimde de dahil olmak üzere açık değildir. Bu araştırma, öğretmen adaylarının statik elektriği açıklamada karşılaştıkları başlıca zorlukları belirlemek için yapılmıştır. Fizik Laboratuvarına Giriş Dersi bağlamında farklı elektrik türlerine odaklanan elektrostatik deneyler yapmışlardır. Dersin sonunda veriler yazdıkları raporlar aracılığıyla toplanmıştır. Verilerin analizinde nitel içerik analiz yöntemi kullanılmıştır. Elverişli olan örneklem 400 fen bilgisi öğretmeni adayından (270 kız ve 130 erkek) oluşmaktadır. Analiz, öğretmen adaylarının bu olayı açıklayan mikroskobik süreçleri - daha spesifik olarak, tümevarımla yükleme - kavramsallaştırmada önemli zorluklar yaşadığını göstermiştir. Elektronların iletkenlerde ve yalıtkanlarda oynadığı farklı roller, fen bilgisi öğretmen adayları için zorluklar oluşturduğu görülmüştür. Bulgular, makroskopik deneysel süreçler sırasında mikroskobik modellere vurgu yapmıştır. Bu durum, öğretmen adaylarının iletkenler ve yalıtkanlarda elektronların rolünü ve elektiriklenmede yer alan farklı mekanizmaları anlamalarına yardımcı olabilir.

**Anahtar Kelimeler:** kavramsal zorluklar, öğretmen adayları, içerik analizi, statik elektrik.

\* Corresponding Author: msaid.dogru@yahoo.com

## 1. Introduction

Electrical events are an important part of the science curriculum at all levels of education, from primary school to university. In elementary school, students are taught the concepts of charges and electrical circuits to prepare for later learning and understanding more complex concepts and procedures related to electromagnetic phenomena. Understanding the fundamentals of electricity to grasp more abstract issues such as electric potential, electric field, Gauss's law, and capacitance- for example, Coulomb's law, the distinction between conductors and insulators, transfer and conservation of charge- propagation of electromagnetic waves (Maloney et al., 2001). Electricity, just like mechanics, is a field of Physics that students find much more difficult to get than other fields. To grasp electrical concepts and ideas, they must be able to relate macroscopic phenomena to microscopic procedures.

Studies on student misconceptions in electrostatics have focused on electric fields and the forces applied by electric fields to charges (Eylon & Ganiel, 1990; Furio & Guisasola, 1998; Thong & Gunstone, 2008; Savelsbergh, Jong & Ferguson-Hessler, 2011; Planinic, 2006). The findings of these studies have shown that most students do not clearly understand the electric field concept and suffer from several misunderstandings. For example, students have difficulties with the representation of electric field lines. According to Taşkın (2021), students believe that the line of force will be the true trajectory of the moving charge. A simple interpretation of this answer could be that a single line of force contains only one piece of information: the direction of the force applied to the load. Students are guided to visualize the concept of field lines based on a relatively familiar trajectory. Another source of confusion between trajectory and force lines could be a belief that force lines are true conduction paths for electrical effects. Besides, Törnkvist et al. (1993) and Planinic (2006) stated that students think electric field lines can both cross each other and form sharp boundaries. I understand field lines as isolated entities rather than a set of curves representing the electric field vector as a property of space. This explains the misunderstanding of electric force and electric field (field lines) as linear vectors, regardless of the type of charge. Other misunderstandings include "field lines can begin and end anywhere" and "there are a few field lines" (Maloney et al., 2001; Singh, 2006). Research into students' understanding of simple electric direct current (DC) circuits has shown that many students find it very difficult to apply qualitative reasoning to explain the observed phenomenon. Some argue these difficulties stem from failing to construct models of microscopic processes that produce this phenomenon (Guisasola, 2014).

Since electricity is used in everyday situations, it makes sense that both students and adults suffer from many misunderstandings when trying to understand and explain the phenomenon related to them (Ersoy & Dilber, 2014). Although the textbooks started their discussions on electricity with the concept of electric charge, the students did not clearly understand the load as a concept (Eylon & Ganiel, 1990; Pardhan & Bano, 2001; Thacker et al., 1999).

The students' most typical misconceptions are that 'a neutral object has no charge' (Calilot & Xuan, 1993; Thacker et al., 1999; Dori & Belcher, 2005) and explains the concept of electric charge that 'a charged object contains only electrons or protons'. (Siegel & Lee, 2001). Regarding the concept of static electricity,

they believe that 'friction is the (only) cause of static electricity (Calilot & Xuan, 1993; Siegel & Lee, 2001).

Guruswamy et al. (1997) showed that students and teacher candidates faced many difficulties in charge transfer in static electricity.

Guruswamy et al. (1997) showed that students and teacher candidates faced many difficulties in charge transfer in static electricity. Some examples may include: 'No charge transfer between two metal objects with the same sign', 'Transfer between oppositely charged metal objects occurs until one object is neutral', 'No transfer between a charged metal. Object and a neutral metal object 'and' The charges on two metal objects remain the same after touch regardless of the signs of the initial charges'. Calilot & Xuan (1993) discussed the fact that adults accepted similar misconceptions. Besides, Hermita et al. (2017) created and implemented a test to diagnose teacher candidates' misconceptions about static electricity. The results included ideas such as "Electrostatic objects cannot attract neutral objects", "A neutral object is an object without an electric charge" and "The magnitude of the pull between two charged objects depends on the size of the charge." Park's research identified students' previous ideas about the electrostatic induction phenomenon (Park, 2001). At the beginning of the interview, most of both middle school and college students can predict the motion of the leaves inside the electroscope in a conductor state, but not in an insulator state. While examining their answers, the researchers found that most students could make scientifically acceptable explanations for the phenomenon of induction regarding conductors, but not with insulators (polarization). Students could describe the induction of conductors because of electron transfer within the conductor but had difficulty explaining the corresponding procedure (polarization) inside insulators.

Regarding the Science Education curriculum in Europa, science has been included in the last two years of primary school. Primary school comprises 1-6. Grades (6-12-year-old students). In particular, during the fifth year, 11-year-old students are introduced to "basic" electrical ideas and phenomena such as atomic structure so that they can understand positive and negative electric objects, three types of charges, and related phenomena such as static, curly hair, and how an electroscope works. The subject at hand is how to ensure successful science education in primary school, and there is an important contribution to the science education of teacher candidates. Although several research projects on electricity have been conducted in science education (Guisasola, 2014), only a few have focused on the difficulties that teacher candidates encounter in the microscopic processes of static electricity. Some studies on electrostatics have suggested that teacher candidates have alternative concepts related to basic concepts in electrostatics and that teacher candidates have difficulty learning concepts related to electrostatics (Atasoy, 2013, Başer & Geban, 2007; Simayi, 2004); Park, Kim & Lee, 2001). Some common alternative concepts have been identified in the studies on electrostatics. The most remarkable of these alternative concepts is the misrepresentation of load distributions in conductive and insulating objects, that insulating objects cannot be loaded or that they can transmit loads such as conductors everywhere (Şekercioğlu, 2011). In the results obtained from some studies, participants can act on their positive load (Çiğdemtekin, 2007; Gülçiçek, 2016) and it was determined that there would be a uniform load on the loaded objects (Başer,



With the findings in the literature, this is the issue addressed in this research that contributes to the design of teaching strategies focusing on microscopic procedures, not just macroscopic phenomena.

## **2.Method**

### **2.1.Purpose of the Research**

This study aimed to reveal the conceptual difficulties of science teacher candidates about static electricity. In our research, he formed part of a larger General Physics Laboratory Lesson (GFL) comprising five confirmatory laboratory studies, one of which was electrostatics. Regarding this research, the following questions were asked:

a) To what extent could the teacher candidates create scientific explanations about static electricity?

b) What are the conceptual difficulties that classroom teacher candidates encounter regarding the mechanisms by which static electricity is generated?

### **2.2.Research Method**

The field study was carried out in the Department of Mathematics and Science Education of a state university in the Western Black Sea Region in the fall term of 2017-2018.

This research was prepared qualitatively for a cross-sectional design. The data were collected at once through a questionnaire. Thus, information about certain existing beliefs will be better provided (Gay et al., 2012). The study aimed to determine the conceptual difficulties faced by primary school teacher candidates regarding static electricity. In this sense, the study tried to reveal the relevant microscopic processes that teacher candidates had difficulty explaining. The tool used here is an open-ended questionnaire in which teacher candidates can express their explanations about the phenomenon of static electricity in writing. All participants answered the same question set in the questionnaire. Both qualitative and quantitative methods were used to analyze the data.

### **2.3.Population and Sample/ Study Group/ Participants**

The sample comprised 400 first-grade teacher candidates: 270 women and 130 men. The easy sampling method was chosen to choose the participants because of their easy access. However, in the current courses, the data were collected reliably as they already had to submit the written report to pass the course (GFL).

Regarding their scientific education and science, most of the teacher candidates accepted to the department have turned to Science. According to the curriculum of the Ministry of National Education, subjects including the structure of the atom, static electricity, conductors, and insulators are covered in the science and technology course in the eighth grade of secondary school. The teacher candidates attended the General Physics Lesson (GFL) at the same time as GFL. However, when they took part in static electricity laboratory experiments, the relevant theories were not yet taught through GFL. Their responses were therefore taken independently of GFL or derived from laboratory practice or previously gained knowledge.

### **2.4.Data Collection Tools/ Procedures**

The teacher candidates taking part in the GFL were divided into 16 teams of 25 people and worked. GFL comprised five three-hour laboratory practice sessions, standing on their own once a week: 1) taking measurements, 2) mechanics, 3) optics, 4) static electricity and 5) Ohm's law. Participants were provided with materials to prepare for each laboratory exercise. Related theory and some examples are also included in this section. For example, it included examples of charging materials by contact with static electricity. The experiments examined are confirmatory in that teacher candidates have to test the relatively simple hypotheses they have prepared. While conducting these exercises, they were required to describe the experimental material: Tools, devices, and daily materials. They were informed of how long each task would take, so they could set their own pace and encouraged their colleagues to take an active role. The teaching sequence, including three static electricity experiments, is explained in detail in Appendix I.

Regarding the research data, 400 separate written reports containing open-ended questions and which are the final outputs of the GFL were collected. The questionnaire on static electricity was presented to students as part of the general written report. It comprises six open-ended questions that teacher candidates can express their views freely about static electricity: The first four questions are friction and contact loading; the last two questions are about induction loading. Five of the six questions are based on the function of the electroscope in terms of types of charges. The last question is focused on polarization. Since the study is also a part of the final evaluations, all participants answered the questions (response rate 100%).

### **2.5.Data Analysis**

Both qualitative and quantitative methods are used. Conceptual content analysis was used to code the answers of the teacher candidates. For methodological reasons regarding reliability, the data has been pre-coded. Subsequently, inductive categories were created by the first three author-coders (Cohen's kappa 0.8), which was sufficient according to Mayring (2000). Here, the content unit is the answers that the participants add to their written reports. Quantitative analysis steps (e.g., percentages), called descriptive statistics, were followed to quantify the findings and provide a clearer case for conceptual challenges (Gay et al., 2012). .05 alpha level was used for all statistical tests.

### **2.6.Findings**

Content analysis of the teacher candidates' written reports showed that many could give scientifically accepted descriptions of friction and contact loading, but had difficulties explaining electrostatic induction. Especially: Regarding electrical loading by friction and touch, most of the teacher candidates made scientifically accepted explanations. Many teacher candidates have described friction electricity as the transition of electrons from one substance to another, assuming that electrons are looser from one substance to another. Regarding touch or contact, teacher candidates were able to easily identify the mechanism by which the neutral object will be charged since electrons will pass to the neutral object when a neutral object is touched by a charged object (e.g., negatively charged). The neutral object, therefore, receives a negative charge, and the initially charged object becomes less negative. A few teacher candidates (12%)

revealed their difficulties in understanding the structure of the atom because of proton or electron transfer (Table 1). atom by describing friction and contact electrical charging

*Table 1. Response percentages of teacher candidates on friction and contact loading*

Scientifically accepted answers	Proton or electron transfer
%87	%13

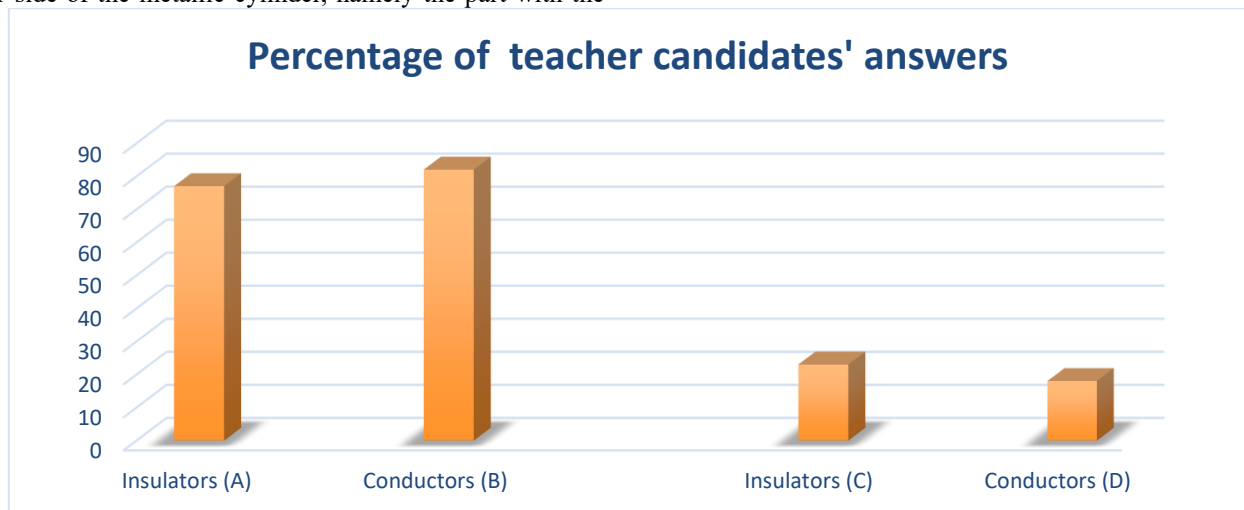
In Table 2, coded examples of scientifically accepted and not accepted responses are presented.

*Table 2. Examples of teacher candidates' views on electrification through friction and contact*

Thematic category	Scientifically accepted answers	Non-accepted answers
<i>Electrification by friction</i>	During friction, looser electrons (e.g. Electrons of one object) are transferred to another object. As a result, one object is loaded positively and the other object is loaded negatively. We don't know which one is for each pair, but it depends on the electrons.	Friction causes electrons or protons to be transferred from one object to another.
<i>Electrification by touch</i>	A negatively charged object gives some of its electrons to the electroscope. That is why it opens. If the rod is positively charged, electrons pass from the electroscope to the bar. As a result, the plates of the electroscope are positively charged and push each other.	The glass bar gives its positive load to electrical and causes the plates to open.

Table 2 presents the opinions of the teacher candidates on the differences between conductors and insulators. Most of the candidates made precise statements regarding the fact that the tip of the glass rod is not electrified, since glass is an insulator and electrons cannot move from one side of the material to the other. Most of the participants explained that the load from the friction is in its original position. A few candidates (23%) made a different statement: the leaves of the electroscope did not open since there was no electric charge when all the charge was transmitted during the previous experiment. Regarding touching the other side of the metallic cylinder, namely the part with the

sticker, most of the participants could explain why the electroscope leaves were opened by describing the free movement of electrons in the metal. Most of the teacher candidates attributed this feature to the metal being the cylinder. Few of them (12%) were observed to fail their experiments, possibly because of the discharge of the electrical charge of the cylinder. The teacher candidates could explain this situation because of the lack of electrical charge of the cylinder. Although there are close comments to the glass rod explanations here, their interpretations from different places stand out.



A and B: Scientifically accepted answers C: No charge remains D: Experimental

Table 3 presents examples of teacher candidates' views on insulators and conductors. About the induction charging of conductors, 68% of the teacher candidates made complete explanations. Most of the candidates had difficulty explaining why the electroscope turned on when brought near the charged glass rod. Specifically, 32% of the participants were observed to believe that the electric charge of the glass rod is transferred by air to the metal disc (Figure 3), and the metal disc as a conductor allows the electric charge to move to the plates. The greatest evidence for this is the statements about the electroscope charging with the same electrical charge. Here, the teacher candidates attributed the charge of the electroscope plates not to

the motion of the electrons inside the electroscope, but to a charge resulting from transferring electric charge from the rod to the metal disk. They stated that even from a distance, the charge of the rod will be transferred to the metal disc of the electroscope. Regarding the induction (dielectric polarization) charging of insulators, only 10% of the natural procedure discussed successfully responded. Most of the teacher candidates (90%) could not explain the mechanism by which the molecules in the styrofoam of the glass rod are polarized because of static electricity. Specifically, the attraction between the rod and the styrofoam pendulum (Figure 3) is explained:

Table 3. Examples of teacher candidates' views on conductors and insulators

Thematic category	Scientifically accepted answers	Non-accepted answers
<i>Conductive</i>	Because electrons move freely in conductors, there is a load at the other end of the metallic cylinder, and the electroscope is therefore opened.	Because of the previous touch with the electroscope, the cylinder is out of charge.
<i>Insulators</i>	Because electrons do not move inside insulators, there is no electrical charge at the other end of the glass bar.	At the other end of the glass bar, there is no electric charge left. Because it is all over in the previous experiment.

According to Table 3;

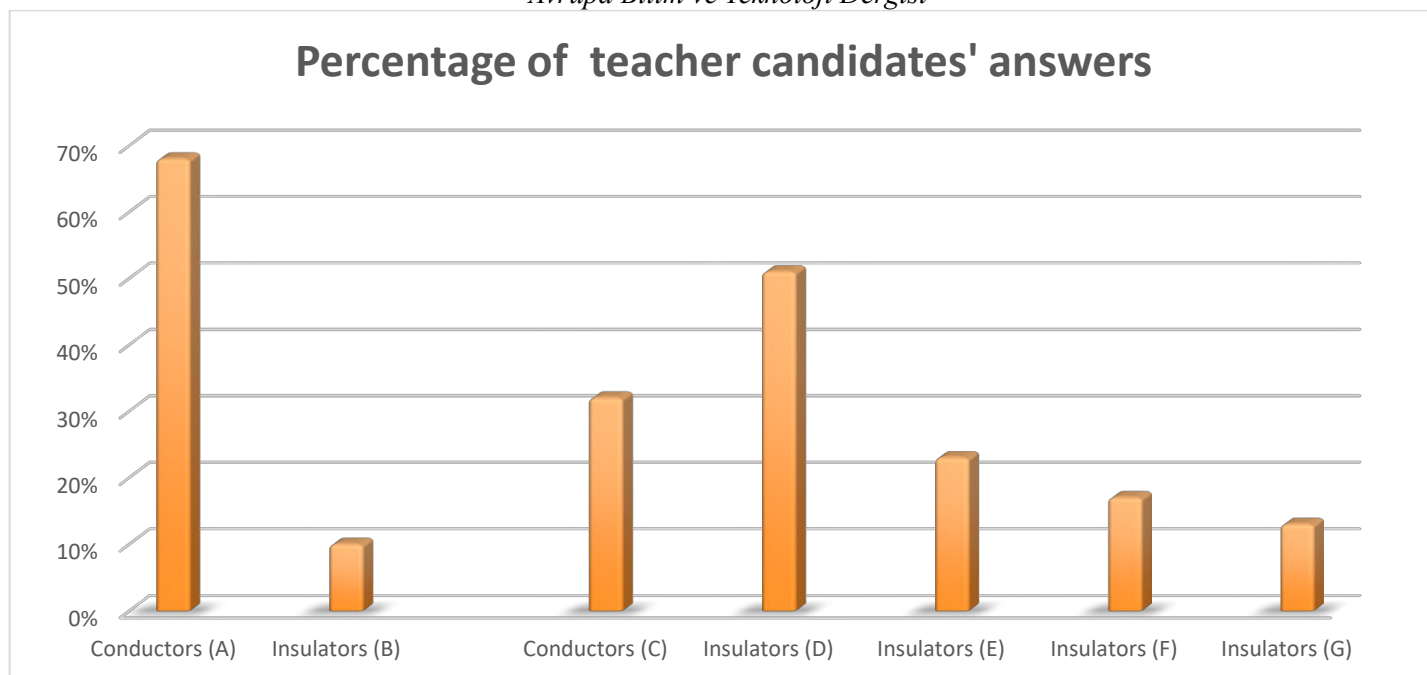
The state of attraction between a charged and neutral object: 38% of the teacher candidates stated that the charged glass rod attracts the styrofoam ball, which is electrically neutral, so two charged objects are not needed. The teacher candidates did not explain in any way the displacement of electrons in the same molecule in polarization. Here, they used an explanatory framework that the electric force between electrical and non-electrical objects can be transferred. They could not explain how the electrostatic properties of the neutral knob of the pendulum are formed.

The state of attraction between oppositely charged objects: 24% of the teacher candidates claimed that the attraction between the stick and the styrofoam ball was because of the two objects having opposite charges, but they could not explain how the ball was electrified in the opposite direction.

The state of attraction between objects with opposite charges resulting from electron transfer from one object to another: 18% of the teacher candidates claimed that the charged

glass rod provides electrons to the styrofoam ball from a certain distance, the electric charge "jumped" from the rod to the styrofoam ball in the air. This electron transfer causes the rod to lose all its electrons and ultimately to be positively charged, while the styrofoam pendulum is negatively charged. Here, the teacher candidates used an alternative explanatory framework based on the "construction" of two oppositely charged objects: the positive rod and the negative styrofoam ball.

The result of the glass rod's contact with the styrofoam pendulum. 11% of the teacher candidates thought the hammer was caused by the loaded rod and the pendulum ball. They argued that during the contact between two objects, the electrically charged rod gives electrons to the pendulum ball, keeping the ball negative and the rod positively charged. Therefore, they explained that the attraction between the styrofoam ball and the glass rod is because of the loading of the ball with an electric charge opposite to the load on the rod. The candidates did not realize that the two objects attract each other from a distance, they are pushed if they touch each other.



A-B: scientifically accepted answers. C: The electric charge of the charged object is transferred through the air to the neutral conductor. D: Attraction without explanation. E: Attraction due to the oppositely charged object. F: The charged object offers electrons at a distance to the neutral object. G: Attraction because of the contact between the object.

Figure 2. Teacher Candidates' views on electrostatic induction- polarization

In Table 4, examples of the responses of 51 teacher candidates, coded as scientifically accepted or not, about inductive electrification are presented. The answers that were not scientifically accepted were classified according to their content (C, D, E, F, G) and shown in Figure 2.

To determine whether there is a statistically significant difference between the percentages of teacher candidates who gave correct and incorrect answers, respectively, a single-sample t-test was conducted. When the answers about friction and contact electricity were examined, it was found that there was a significant difference between the scores of scientifically accepted responders (89%) and those who did not (11%) ( $t(399) = 20.032, p < .001$ ). These results (Table 4) show that most of the teacher candidates could give scientifically accepted explanations about friction and electrification by touch.

Although many teacher candidates have scientifically accepted opinions by testing the difference between conductors and insulators, we find that they have difficulty understanding the different roles electrons play in conductors and insulators with a statistically significant percentage. When the responses of the teacher candidates about induction electrification were examined, it was found that a statistically significant percentage of them attributed electron induction to electron transfer via air from the metal cylinder to the electroscope (Table 5).

A comparison was made between scientifically accepted answers and answers given to different categories in the case of

charging with dielectric polarization (Table 6). A statistical difference was found between the teacher candidates who gave scientifically accepted answers (22%) and those who could not make a meaningful explanation (54%) ( $t(399) = 22.721, p < .001$ ). These findings show that most of the teacher candidates have deficiencies in explaining dielectric polarization. Such a hypothesis is supported by the comparison of the three different categories that the remaining (24%) teacher candidates encountered; attraction between objects with opposite charges (21%), electron transfer through the air (17%), and attraction (16%) because of electrification by touch.

However, there was no significant difference between those who gave scientifically accepted answers (22%) and those who attributed dielectric polarization to objects with opposite charges (21%). Similarly, the percentage of accepted responses was not found to be significantly different when compared to responses linking polarization to airborne electron transfer (Table 7). Finally, there is no significant difference between the percentage of scientifically accepted answers and those that link polarization to gravity because of electrification by touch; ( $t(399) = 5.926, p = 0.47$ ). Although some differences were not statistically significant, the results provided powerful evidence that teacher candidates encountered difficulties in explaining static electricity and, in particular, induction and dielectric polarization.



Table 4. Examples of teacher candidates ' views on induction electrification

Teacher candidates' answers	Conductive	Insulators
<i>Scientifically accepted answers</i>	Styrofoam electrons cannot move as freely as conductors do. To illustrate, when the positively charged rod is approached by the styrofoam ball, the atoms in the Styrofoam are directed as if the electrons were trying to approach the positive object.	When the negatively charged glass rod is brought to the electroscope, it pulls the electrons from the metals. The plates are negatively charged and they are opening.
<i>Attraction without explanation (Non- accepted answers)</i>	The glass rod is charged, and that is why it attracts the ball.	-
<i>The attraction between oppositely charged objects (Non-accepted answers)</i>	-	That doesn't pull each other because the rod and ball don't load against each other.
<i>Electrons' transfer through the air (Non-accepted answers)</i>	Electrons pass through the air to the ball in the rod. Therefore, the two objects attract each other because of contrasting loads.	One object is positive and the other is negative because electrons pass through the air from the rod to the electroscope or versa. They pull each other.
<i>Attraction as a result of contact charging (Non-accepted answers)</i>	-	The rod and ball are loaded against each other without touching each other and do not attract each other.

Table 5. Statistics of teacher candidates ' answers about friction, touch and induction electrification

Teacher candidates' answers	Scientifically accepted (%)	Non-accepted (%) t-test	One-sample t-test
<i>Friction and contact electricity</i>	89	11	t (399) = 20.032, p < .001
<i>Insulators</i>	77	23	t (399) = 7,204, p < .001
<i>Conductors</i>	93	7	t (399) = 23,143, p < .001
<i>Induction</i>	68	32	t (199) = 5.411, p < .001

Table 6. Statistics of teacher candidate responses on dielectric polarization

Scientifically accepted answers (%)	22
Non-accepted answers (%)	One sample t-test
<i>Attraction without explanation</i>	38 t (199) = 22,721, p < .001
<i>Attraction between oppositely charged objects</i>	21 t (199) = 13,241, p = .21
<i>Electrons' transfer through the air</i>	17 t (199) = 9.249, p = .62
<i>Attraction because of contact charging</i>	16 t (199) = 8.983, p = .48

Teacher candidates' accepted answers (%)	Scientifically accepted answers (%)		Double sample t-test
	Female	Male	
<i>Friction and contact electricity</i>	192	197	t (398) = 1.016, p < .342
<i>Insulators</i>	175	183	t (398) = 1.245, p < .291
<i>Conductors</i>	187	188	t(398) = 0.152, p < .795
<i>Induction</i>	160	170	t (398) = 1.423, p < .211
<i>Polarization</i>	90	92	t (398) = 0.198, p < .785

To determine whether there is a statistically significant difference according to gender, a two-sample t-test was conducted. The results (Table 7) show that there is no statistically significant difference between the answers of male and teacher candidates.

### 3. Discussion

This study aimed to address to what extent science teacher candidates can construct scientifically accepted views about processes related to static electricity after a GFL and all the negativities detected. The teacher candidates answered an open-ended questionnaire comprising six questions about three different electrifications.

Based on the content analysis of the teacher candidates' written reports, it was revealed that most of the participants could make scientifically accepted explanations for electrification by friction and touch. It has been observed that the conceptual difficulties are mainly related to the induction and polarization processes.

Regarding electrification by friction and touch, most of the teacher candidates could explain the relevant microscopic processes and stated that charging progresses towards electron transfer. This result revealed that the participants perceived electrification as a process that occurs only through friction. Explanations are supporting this finding in the literature (Başer & Geban, 2007; Yıldız, 2011; Stefanidou et al., 2019). However, the results reveal a few teacher candidates encountered difficulties in explaining electrification by friction and touch, mistakenly seeing the transfer of protons or electrons from one object to another as a reason for charging. It was also observed that these teacher candidates had difficulty associating the atomic structure in electrification with touch and friction. These findings are consistent with the results of the research reported in the literature (Tezcan & Salmaz, 2005; Sarıkaya, 2007; Stefanidou and et al., 2019). It was also observed that the teacher candidates could not attribute their knowledge about the atom to their explanations about electrification by friction and touch. Here, although the teacher candidates knew atoms cannot be transmitted by touch, it was revealed that they could not understand the state of proton transfer between objects. They could see that the glass rod, metal cylinder, wood, and the fabric did not change during the experiments.

The findings of this study showed that the difficulties experienced by teacher candidates were primarily related to induction/polarization processes. In particular, these difficulties can be expressed as teacher candidates' electrostatic induction, a process of free electrons moving from one part of an object to another because of another charged object (induction in conductors), or an electron redistribution within the atom or molecules closest to the outer surface of the object (polarization in insulators). Most of the teacher candidates were found to encounter difficulties when they were asked to explain the meaning of electrostatic properties to a neutral object by induction. In the literature, a similar situation was encountered in the studies that participants had difficulty in understanding that a neutral object can carry a charge and therefore interpreting electrostatics (Calilot & Xuan, 1993; Thacker et al., 1999). Students who define electrons as the gravitational force when passing to other objects have also appeared in the studies of Başer and Geban (2007). Here it appears to be related to the poor understanding of the structure of conductors and insulators and the role played by free electrons in them. The reason for this situation can be explained by the teacher candidates' avoidance of expressing their opinions about induction and polarization mechanisms. Because they did not distinguish between the role of mobile free electrons in conductors and the role of electrons attached to less mobile atoms in insulators.

These findings make more sense, especially when it is considered that the participants in this study lacked the experience of teaching atomic theory, electrostatics, conductors, insulators, etc. This may be evidence that students contribute little to their focus on macroscopic phenomena and their understanding of microscopic procedures. It is also similar to the conclusion presented in the relevant literature (Voutsina & Ravanis, 2011; Dederberg, 2012; Cheng, 2015; Stefanidou et al., 2019) and introduces the electrical curriculum with basic electrical phenomena (electrification by friction, contact, and induction) and microscopic methods to improve students' understanding. It is suggested that they should focus on explanatory models.

When related studies are examined, it is stated that adults and secondary school and university students have great difficulty in understanding and explaining static electricity phenomena (Calilot & Xuan, 1993; Eylon & Ganiel, 1990; Guruswamy et al., 1997; Hermita et al., 2017; Siegel & Lee.,

2001; Stefanidou et al., 2019; Thacker et al., 1999). This version has been revealed through research on DC electric circuits, electric shocks, electric fields, and other electrostatic issues; here - unlike other fields of Physics where processes, such as mechanics, can be directly visualized - everything observed can be as an indirect view of some.

The most important contribution of this research is to identify the conceptual challenges related to static electricity by focusing on three types of electrification. Such an approach revealed that teacher candidates were associated with the difficulties they experienced in connecting atomic structure to the phenomenon of static electricity.

Such findings are very important in addressing teacher candidates' understanding of science teaching in middle school, especially for good teaching and methods, and in identifying any confusion at the microscopic level.

The findings of this study prove that teacher candidates have difficulties in understanding both the microscopic procedures related to induction, dielectric polarization, and the differences between conductors and insulators. According to the results got are the difficulties associated with the different roles that electrons play in insulators and conductors. Therefore, the research is likely to show the need for a deeper analysis of microscopic procedures involved in electrostatics. Based on the findings of this study, further research may contribute significantly to teacher candidates' views on the role of conductors and insulators in electrostatics and electromagnetic phenomena.

It is proposed to establish macro-micro relationships based on electrostatic experiments supported by theories and models of production mechanisms in static electricity. It is important to include microscopic models in the electrical curriculum in schools and universities, as they help students understand the relationship between macroscopic phenomena and microscopic-level patterns. Besides, inquiry-based teaching methods are recommended in which teacher candidates can actively take part in developing scientifically accepted explanations. Students will not only do experiments but also learn how to test their hypotheses and create models that attempt to explain static electricity phenomena. By comparing their models with sample software (eg Phet Colorado), they can progressively develop scientific explanations.

## 4. Conclusion

There are two purposes in this study: (1) To examine to what extent teacher candidates can construct scientific explanations about static electricity. (2) Identifying the conceptual difficulties that teacher candidates face when they have to explain the basic phenomena of static electricity: Electrification and induction by friction and touch. After the teacher candidates completed the GFL, they submitted a written report in which they should express their views on the three types of electrification by answering six open-ended questions.

The results reveal that teacher candidates have difficulty in conceptualizing microscopic procedures that occur during electrification. Although the challenges are mainly related to charging through induction and dielectric polarization, the research has also revealed that they also encounter some difficulties with electrification by friction and touch. At the heart of such difficulties lies the lack of understanding of the atomic

structure and hence the microscopic procedures that occur during induction. In particular, it turned out that the teacher candidates' responses found it very difficult to explain a poor understanding of the role played by each of the electrons in the three types of electrification, as well as the difference in the role of electrons between conductors and insulators.

Therefore, the most important contribution of this study is that although the findings are limited to the sample, the teacher candidates have difficulties with all three electrifications, which shows that there is a poor understanding of the atomic structure and a weak relationship between atomic structure and their knowledge about electrification. As this research shows, teacher candidates still have great difficulty explaining microscopic procedures related to static electricity phenomena, even though they have been included in the science curriculum at all educational levels from primary education to higher education. For this reason, it is important to increase the knowledge of teacher candidates, as this would help them gain sufficient knowledge. We can develop a more positive understanding of future students of these issues by helping them to develop their knowledge.

As a result, some alternative considerations are proposed, such as the use of inquiry-based teaching, in which microscopic models are integrated into macroscopic procedures and experiments to overcome the challenges expressed here. Further research in this area could shed light on the development of teaching-learning sequences that consider microscopic procedures related to electrical and other derivative issues.

Research findings are limited to the sample. Thus, research on conceptual challenges related to static electricity and the role of electrons can be repeated or studied with different methods to increase the reliability of the findings.

## References

- Atasoy, Ş. (2013). Effect of writing-to-learn strategy on undergraduates' conceptual understanding of electrostatics. *The Asia Pacific Education Researcher*, 22 (4), 593-602.
- Başer, M., Geban, Ö. (2007). Effect of instruction based on conceptual change activities on students' understanding of static electricity concepts. *Research in Science & Technological Education*, 25 (2), 243-267.
- Caillot, M., & Xuan, A. N. (1993). Adults' misconceptions in electricity. In *The Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. NY: Ithaca.
- Cheng, M. F., & Lin, J. L. (2015). Investigating the relationship between students' views of scientific models and their development of models. *International Journal of Science Education*, 37(15), 2453-2475.
- Çiğdemtekin, B. (2007). *Fizik eğitiminde elektrostatik konusu ile ilgili kavram yanlışlarının giderilmesine yönelik bir karikatüristik yaklaşım* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara-Türkiye
- Demirci, N. & Çirkinöğlü, A. (2004). Öğrencilerin elektrik ve manyetizma konularında sahip oldukları ön bilgi ve kavram yanlışlarının belirlenmesi. *Türk Fen Eğitimi Dergisi*, 1(2), 116-138

- Dori, Y. J., & Belcher, J. (2005). How does technology-enabled active learning affect undergraduate students' understanding of electromagnetism concepts?. *The Journal Of The Learning Sciences*, 14(2), 243-279.
- Ersoy, F. N., & Dilber, R. (2014). Comparison of two different techniques on students' understandings of static electric concepts. *International Journal Of Innovation And Learning*, 16(1), 67-80.
- Eylon, B. S., & Ganiel, U. (1990). Macro-micro relationships: The missing link between electrostatics and electrodynamics in students' reasoning. *International Journal of Science Education*, 12(1), 79-94. <https://doi.org/10.1080/0950069900120107>.
- Furio, C., & Guisasola, J. (1998). Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, 82(4), 511-526.
- Guisasola, J. (2014). Teaching and learning electricity: The relations between macroscopic level observations and microscopic level theories. In *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*. NY: Springer
- Guruswamy, C., Somars, M. D., & Hussey, R. G. (1997). References students' understanding of the transfer of charge between conductors. *Physics Education*, 32(2), 91-96.
- Gülçiçek, N. (2016). *Fen bilgisi öğretmen adaylarının elektrostatik konusunda teknolojik pedagojik alan bilgileri* (Yayınlanmamış doktora tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara-Türkiye.
- Güneş, B. (2013). *Fizikte Kavram yanlışları*. Ankara: Palme Yayınları.
- Hermita, N., Suhandi, A., Syaodih, E., Samsudin, A., Isjoni, Johan, H., Rosa, F., Setyaningsih, R., Sapriadi & Safitri, D. (2017). Constructing and implementing a four tier test about static electricity to diagnose pre-service elementary school teacher' misconceptions. *Journal of Physics*, 895(1), 012167.
- Maloney, D. P., O'Kuma, T. L., Hieggelke, C. J., & Van Heuvelen, A. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 69(S1), S12-S23.
- Park, J. (2001). Analysis of students' processes of confirmation and falsification of their prior ideas about electrostatics. *International Journal of Science Education*, 23(12), 1219-1236.
- Park, J., Kim, I., Kim, M., & Lee, M. (2001). Analysis of students' processes of confirmation and falsification of their prior ideas about electrostatics. *International Journal of Science Education*, 23(12), 1219-1236.
- Pardhan, H. ve Bano, Y. (2001). Fen bilgisi öğretmenlerinin doğrudan akımlarla ilgili alternatif kavramları. *International Journal of Science Education*, 23 (3), 301-318.
- Planinic, M. (2006). Assessment of difficulties of some conceptual areas from electricity and magnetism using the Conceptual Survey of Electricity and Magnetism. *American Journal of Physics*, 74(12), 1143-1148.
- Sarıkaya, M. (2007). Prospective teachers' misconceptions about the atomic structure in the context of electrification by friction and an activity to remedy them. *International Education Journal*, 8(1), 40-63.
- Savelsbergh, E. R., de Jong, T., & Ferguson-Hessler, M. G. (2011). Choosing the right solution approach: The crucial role of situational knowledge in electricity and magnetism. *Physical review special topics-Physics education research*, 7(1), 010103.
- Sederberg, D. (2012). *Middle school students' mental models of magnets and magnetism* (Unpublished doctoral dissertation). Purdue University, Indiana.
- Siegel, M. A., & Lee, J. A. (2001). "But Electricity Isn't Static": science discussion, identification of learning issues, and use of resources in a problem-based learning education course. ERIC Clearinghouse.
- Simayi, A. N. (2014). The use of contextually appropriate analogies to teach direct current electric circuit concepts to isiXhosa speaking learners (Doctoral dissertation). Nelson Mandela Metropolitan University, South Africa.
- Singh, C. (2006). Student understanding of symmetry and Gauss's law of electricity. *American journal of physics*, 74(10), 923-936
- Stefanidou, C. G., Tsalapati, K. D., Ferentinou, A. M., & Skordoulis, C. D. (2019). Conceptual Difficulties Pre-Service Primary Teachers Have with Static Electricity. *Journal of Baltic Science Education*, 18(2), 300.
- Taşkın, T. (2021). Examination of prospective teachers' knowledge about capacitors and electric field lines. *Research in Science & Technological Education*, 1-18.
- Tezcan, H., ve Salmaz, Ç. (2005). Atomun yapısının kavratılmasında ve yanlış kavramaların giderilmesinde bütünleştirici ve geleneksel öğretim yöntemlerinin etkileri. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 25(1), 41-54.
- Thacker, B. A., Ganiel, U., & Boys, D. (1999). Macroscopic phenomena and microscopic processes: Student understanding of transients in direct current electric circuits. *American Journal of Physics*, 67(S1), 25-31.
- Thong, W. M., & Gunstone, R. (2008). Some student conceptions of electromagnetic induction. *Research in Science Education*, 38(1), 31-44.
- Törnkvist, S., Pettersson, K. A., & Transtr. mer, G. (1993). Confusion by representation: On student's comprehension of the electric field concept. *American Journal of physics*, 61(4), 335-338.
- Voutsina, L., & Ravanis, K. (2011). History of physics and conceptual constructions: The case of magnetism. *Themes in Science and Technology Education*, 4(1), 1-20.
- Yıldız, F. (2011). *İlköğretim 7. sınıf öğrencilerinin elektrostatik konusyla ilgili kavram yanlışlarının belirlenmesi*



Step 3: Students are asked to rub the metal cylinder with a woolen cloth and then touch the metal disc of the electroscope.

Step 4: After the electroscope is neutralized, Students are asked to touch the metal disc of the electroscope with the other end of the glass cylinder.

Experiment B: Electrification by Induction. They are materials used in an arranged pendulum, a glass bar, and an electroscope.

Step 1: Students are asked to electrify the glass bar with fractions and zoom in on the metal disc of the electroscope. Students are asked to rub the glass rod and zoom in on the pendulum.

Step 2: Students are asked to rub a glass bar with a woolen cloth and zoom in on the pendulum.

## **APPENDIX 1**

The laboratory experiment examined in this study is related to static electricity.

Experiment A: Electrification by friction and contact. They are materials used in an arranged glass bar, a cylinder of metal, an electroscope, and a piece of wool.

Step 1: Students are asked to rub one end of the glass bar and touch the metal disk of the electroscope with the loaded rod.

Step 2: After the electroscope is neutralized, Students are asked to touch the metal disc of the electroscope with the part of the glass bar that is rubbed with wool.



# İstanbul Lastik Tekerlekli Toplu Ulaşım Sistemlerinde Özel Halk Otobüsleri için Elektrikli Otobüs Konsepti

Orhan Topal

Aselsan A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3857-5689)

(İlk Geliş Tarihi 18 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 22 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.972925)

**ATIF/REFERENCE:** Topal O. (2021). İstanbul Lastik Tekerlekli Toplu Ulaşım Sistemlerinde Özel Halk Otobüsleri için Elektrikli Otobüs Konsepti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 968-973.

## Öz

Dünya genelinde toplu ulaşımın temel bileşeni olan lastik toplu ulaşım hizmeti kamu ve özel sektör aracılığıyla, farklı sözleşme modelleri çerçevesinde yürütülmektedir. Kalite Teşvikli Brüt Maliyet Sözleşme Modeli en çok tercih edilen sözleşme modeli olarak ön plana çıkmaktadır. Bu sözleşme modelinde verilen sübvansiyon miktarlarının azaltılmasını hedeflemekte; sunulan toplu ulaşım hizmetin kalitesi ve gelirin gideri karşılama oranının artırılması esas almaktadır.

Türkiye’de ise lastik tekerlekli toplu ulaşım hizmetleri büyük ölçüde özel sektör aracılığıyla yürütülmektedir. Konunun en önemli paydaşı olan yerel yönetimlerimiz tarafından Net Kontrat Maliyet Sözleşme Modelinin esas alındığı hizmet yaklaşımları çerçevesinde toplu ulaşım işletmesi sağlanmaktadır [1]. Tercih edilen sözleşme modelinde kamu ve toplu ulaşım işletmecileri için karşılıklı kazanç esas alınmaktadır. Ancak gelirin gideri karşılama oranının yüksek ve işletme planlamalarının sabit olduğu koşullarda tercih edilen Net Kontrat Maliyet Sözleşme Modeli, geline nihai durumda artan maliyetlere ve gelişen raylı sistem ağları ile yeni hatların planlama gereksinimleri nedeni ile sürdürülmesi zorlu bir hal almıştır.

Diğer taraftan küresel ölçekte ulaşım kaynaklı seragazi emisyonlar her geçen gün artmakta; bu duruma yönelik farklı kulvarlarda ve yenilikçi yaklaşımlar ortaya konulmaktadır. Şehir içi toplu ulaşım sistemleri bütün karayolu taşımacılığı kaynaklı CO<sub>2</sub> e salınımlarının 40 %’ına karşılık gelmektedir [2]. Dünya genelinde yürürlüğe alınan birçok delegasyon ve çerçeve sözleşmelerde, toplu ulaşım işletmecisi ve operatörleri faaliyet alanlarında bu konulara yönelik çalışmalara öncelik vermektedir [3].

Bu çalışmada İstanbul özelinde, toplu ulaşım hizmetini sunan Özel Halk Otobüslerine (ÖHO) hitaben, yakın zamanda yürürlüğe konulan Brüt Maliyet Sözleşme Modelini doğrultusunda elektrikli otobüs konseptine geçiş ele alınmıştır. Mevcut durumda içten yanmalı motorlu otobüslere dair hazırlanan söz konusu model çerçevesinde, sürdürülebilir toplu ulaşım yaklaşımını esas alınmıştır. Alternatif ve yenilikçi bir konsept ile Türkiye’de ilk defa lastik tekerlekli toplu ulaşım sistemlerinde yer alan ÖHO için elektrikli otobüslerin kullanılabilirliği konusunda finansal açıdan etkili bir model değerlendirilmeye sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda ortalama ölçekte hizmet verilen bir hat esas alınarak elektrikli ve dizel otobüs kullanımı, Brüt Maliyet Sözleşme Modeli göre karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak ÖHO işletmecileri için 16,159.14 TL ‘ye varan ilave kazanım ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar ile işletmecisi/operatör ve toplu ulaşım otoriteleri açısından çok yönlü değerlendirmelere yer verilmiş olup; söz konusu yaklaşımın E-Brüt Maliyet Sözleşme Modeli olarak literatüre kazandırılması öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** E-Brüt Maliyet Sözleşme Modeli, Lastik Tekerlekli Toplu Ulaşım, Özel Halk Otobüsleri için Elektrikli Otobüs Konsepti

## Electric Bus Concept for Private Public Buses in Istanbul Public Transportation Systems

### Abstract

The rubber-tyred public transportation service, which is the basic component of public transportation around the world, is carried out through the public and private sectors, within the framework of different contract models. The Quality Incented Gross Cost Contract Model stands out as the most preferred contract model. This contract model aims to reduce the amount of subsidies given; it is based on the quality of the public transportation service offered and the increase in the ratio of income to expenditure.

In Turkey, rubber-tyred public transportation services are carried out largely through the private sector. The local governments, which are the most important stakeholders of the subject, provide public transportation operation within the framework of service approaches based on the Net Contract Cost Contract Model [1]. The preferred contract model is based on mutual gain for public and

public transportation operators. However, the Net Contract Cost Contract Model, which is preferred in conditions where the income-to-expense ratio is high and the business planning is stable, has become difficult to maintain due to the increasing costs.

On the other hand, greenhouse gas emissions from transportation are increasing day by day around the world and innovative approaches are being put forward in different lane towards this situation on a global scale. Urban public transport systems account for 40% of all CO<sub>2</sub> emissions from road transport [2]. In many delegations and framework agreements put into effect around the world, public transportation operators and operators give priority to studies on these issues in their fields of activity [3].

In this study, the transition to the electric bus concept has been discussed in line with the newly introduced Gross Cost Contract Model, addressing Private Public Buses, which provides public transportation services in Istanbul. In the current situation, within the framework of the model prepared for internal combustion engine buses, an alternative and innovative concept based on the sustainable public transportation approach and a financially effective model for the usability of electric buses for the Private Public Buses which is involved in rubber-tired public transportation systems for the first time in Turkey . Based on the results obtained, the use of electric and diesel buses was compared according to the Gross Cost Contract Model, based on a line served at an average scale. As a result, additional gains of up to 16,159.14 TL were revealed for Private Public Bus operators. In line with the results obtained, it is envisaged that the approach in question will be brought to the literature as the E-Gross Cost Contract Model. A versatile evaluation is included in terms of operator/operator and public transportation authorities.

**Keywords:** E-Gross Cost Contract Model, Rubber-tired Public Transportation, Electric Bus Concept for Istanbul Private Public Buses

## 1. Giriş

Dünyada her geçen gün artan nüfus, toplu ulaşım hizmetleri konusunda da yenilikçi yaklaşımları zorunlu kılmaktadır. Toplu ulaşım hizmetleri, şehirlerin gelişmişliği ile de doğru orantılı olup, hareketliliğin artırılması sosyal ve ekonomik açıdan da fayda sağlamaktadır. Sürdürülebilir şehir konsepti endeksine göre ise şehirlerdeki toplu ulaşım hizmetleri; şehir içindeki seyahat kalitesine, seyahat edilen araçlarının ne kadar çevreci olduğuna ve son olarak ulaşım sistemlerinin karlılığına göre değerlendirilmektedir [4].

## 2. İstanbul'da Toplu Ulaşım

İstanbul'da toplu ulaşım hizmetleri kamu ve özel sektör kaynaklarıyla sunulmaktadır. Raylı sistemlerle sağlanan ulaşım hizmetlerinde sadece kamu kaynakları; karayolu ve denizyolu ulaşımında ise hem kamu hem özel sektör kaynaklarıyla birlikte hizmet sağlanmaktadır. Yaklaşık 15 Milyon kişinin kayıtlı olarak ikamet ettiği İstanbul'da kent içi toplu ulaşımında lastik tekerlekli sistemler ön plana çıkmaktadır. İstanbul'daki coğrafi yapı ve gerekli altyapı maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda lastik tekerlekli toplu ulaşımın, raylı sistem ve denizyoluna kıyasla daha çok sunulduğu ve dolayısı ile kullanıldığı görülmektedir. Buna göre İstanbul kent içi toplu ulaşımın 78 %'i lastik tekerlekli araçlar, 17,6 %'sı raylı sistemler ve 4,4 %'ü ise denizyoluyla gerçekleştirilmektedir [5][6]. İstanbul'da bütün dünyayı etkisi altına alan pandemi öncesi, 2019 yılı verileri esas alındığında ortalama günlük yolculuk sayısı 31 Milyonu seviyesine ulaştığı, bunun da yaklaşık 45%'ini yaya yolculukların oluşturduğu kaynaklarda yer verilmektedir. Söz konusu bu yolculukların 28%'ini toplu ulaşım, 20%'sini özel araçlar ve son olarak 7% 'sini de servisler vasıtası ile gerçekleştirilmektedir [7]. Toplu ulaşım yapıları yolculuklarının kendi içinde dağılımına bakıldığında ise karayolu taşımacılığı 77,1%'lik payla ilk sırada yer almaktadır. Bu kategoride İETT toplamda 3.607 adet otobüs ve 2.059.151 yolculukla 13,4% paya, Özel Halk Otobüsleri 2.154 adet otobüs ve 1.607.036 yolculukla 10,6%'lik paya ve İstanbul Otobüs A.Ş ise 985 adet otobüs ve 860.801 yolculukla 5,7%'lik paya sahiptir . Bununla birlikte servis, taksi ve dolmuşlarla yapılan yolculuklar ise 40,4% 'lük bir orana karşılık gelmektedir [8][9].

## 3. Lastik Tekerlekli Toplu Ulaşım

İstanbul kent içi lastik tekerlekli toplu ulaşım 40%'dan fazlası, 5000 den fazla otobüs ile İETT, Özel Halk Otobüsleri ve İstanbul Otobüs A.Ş nezdinde yürütülmektedir. Yakın zamana kadar farklı renklerde araçlarla hizmet sunmakta iken bütün araçlar İETT çatısı altında toplanmıştır.

Bu kapsamda aylık bazda otobüslerle gerçekleştirilen yolculuk sayıları ve gerçekleştirilen km değerleri Tablo 1 'de yer almaktadır. Buna göre elde edilen veriler ortalama günlük baza indirildiğinde; İETT' ye ait bir otobüs 131 km yaparak 286 yolcu taşıırken; ÖHO' ne ait bir otobüs 231 km yaparak 573 yolcu; İOAŞ' ye ait bir otobüs ise 211 km yaparak 707 yolcu taşımaktadır. Günlük bazda otobüslerle gerçekleşen km verileri ve yolculuk sayılarına esas olarak, özel sektör ile yürütülen toplu ulaşım hizmetlerini desteklemek adına araç başı gerçekleşen km verilerinin ve yolculuk sayılarının daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 1 İstanbul'da Servise Çıkan Otobüslerle Gerçekleştirilen Toplu Ulaşım Veriler -Aylık [10]

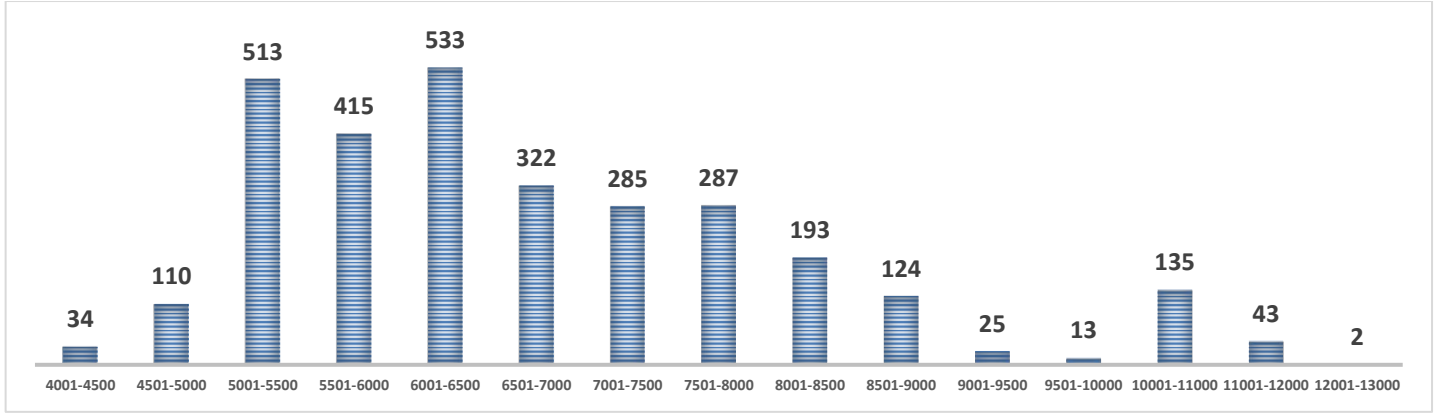
	Araç Sayısı	Yapılan km	Yolculuk
ÖHO	2.112	14.667.293	36.309.569
İOAŞ	922	5.840.825	19.566.492
İETT *	2.120	8.324.033	18.192.246
<b>TOPLAM</b>	<b>5.154</b>	<b>28.832.151</b>	<b>74.068.308</b>

Mevcut sistemde İOAŞ ve ÖHO'ya ait toplam 3.034 adet otobüs bulunmaktadır. Bu araçlarla gerçekleştirilen toplu ulaşım hizmeti aylık bazda 4.000 km – 13.000 km aralığında değişmektedir. Sunulan hizmetin bu denli geniş bir bant aralığı olması, otobüslerin farklı hatlarda çalışmaları; çalışılan hatların

\* Metrobüs Hattı hariç

da işletme hızlarının farklılığından kaynaklanmaktadır. Şekil 2'de ÖHO ile otobüs başına ortalama bazda aylık gerçekleşen kilometre verileri yer almaktadır. Buna göre otobüslerin ağırlıklı olarak 5.000 km ile 6.500 km aralığında hizmet verdiği

görülmektedir. Buna göre 513 otobüs 5001 km – 5500 km arası, 415 otobüs 5501 km – 6000 km arası, 533 otobüs de 6001 km – 6500 km arası yol yaptığı Şekil 1 'de yer alan grafikte görülmektedir [11].



Şekil 1 İstanbul Lastik Tekerlekli Toplu Ulaşım Sisteminde ÖHO için Araç Başına Gerçekleşen km Verileri

### 3.1 Lastik Tekerlekli Toplu Ulaşım İşletme Maliyetler ve Uygulanan Hakediş Modeli

Toplu ulaşım sisteminde ÖHO tarafından verilen hizmete karşılık İETT tarafından yapılan ödemelere esas gerçekleştirilen hakedişlerde temel unsur işletmecilerin karşılaşacağı maliyetlerdir. Lastik tekerlekli toplu ulaşım işletmeciliğindeki maliyetler, sabit ve değişken olmak üzere iki ana başlık altında değerlendirilmektedir. Sabit maliyetler, herhangi bir değişkene (yolcu sayısı, km, zaman vb.) bağlı olmaksızın düzenli olarak ortaya çıkan giderlerdir. Bunlar personel<sup>†</sup>, zorunlu trafik sigortası, kasko, ferdi kaza sigortası, motorlu taşıtlar vergisi (MTV), belediye teknik muayene hizmet bedeli, araç muayene bedeli, araçlar için yıpranma payı (amortisman), personel için SGK, kıdem tazminatı, muhasebe giderleri, bağlı bulunan şirket katkı payı, GKM cihazı<sup>‡</sup> hizmet bedeli ve son olarak vergi dahil olmaktadır. Diğer taraftan değişken maliyetler ise otobüslerin hizmet verdiği sürece oluşacak giderler olup bunlar; akaryakıt, yağ, Adblue ve ağır/periodyodik bakım & onarım giderleridir.

Toplu ulaşım sisteminde yer alan ÖHO işletmecileri için yukarıda da belirtilen maliyete esas gider kalemleri göz önüne alındığında uygulamadaki bazı hususlar dikkat çekmektedir. Buna göre akaryakıt, yağ ve Adblue tüketim maliyetlerinin yetkili istasyonlar dışında ve kalite faktörü gözetilmeden temin edilmesi; bakım & onarım faaliyetlerinin yetkili servis dışında, standartlardan yoksun ve düzensiz olarak gerçekleşmesi gibi durumlar beklenen gider maliyetleri ile sahada reel olarak gerçekleşen gider maliyetleri arasında tutarsızlıklara karşılık gelmektedir. Bununla birlikte söz konusu işletmeciler, gelirlerinin sabit kalması durumunda, daha fazla kar elde edebilmek amacı ile bazı gider kalemlerini kısararak ya da tamamen ortadan kaldırarak çok temel yapılması gereken faaliyetlerden kaçınmakta, daha yüksek gelir elde etmek amacıyla, konfor gereksinimlerini göz ardı ederek taşıdıkları yolcu sayılarını arttırmaya odaklanmaktadır. Son olarak mevcut durumda özel sektör aracılığıyla verilen toplu ulaşım hizmetleri, kurumsal bir yapıdan uzak, bireysel işletmeciler tarafından yürütülmektedir.

Bununla birlikte dünyanın önde gelen birçok şehrinde toplu ulaşım sistemlerine dair desteklenme mekanizmaları bulunmaktadır. Bu kapsamda ülkemizde özel işletmeciler için yerel ve merkezi yönetimler tarafından farklı yolcu gruplarına uygulanan indirimli ve ücretsiz tarifelerin maliyetlerini sübvansiyon etmek amacıyla toplu ulaşım sistemlerine ilave ödemeler gerçekleştirilmektedir. Bunlardan en günceli yaşanan pandemi nedeni ile İstanbul'da Covid-19 Sübvansiyon desteğidir.

İstanbul'da toplu ulaşım sistemindeki mevcut yürürlükte bulunan Net Kontrat Modelinde, hizmetinin sürdürülebilirliği işletmecilerin yolculuk gelirlerine dayalıdır. Bu durum özel işletmecilerin daha fazla yolcu taşıma talebine sebep olmaktadır. Bundan dolayıdır ki ÖHO işletmecilerinin yolcu yoğun hatlarda çalışmaya ve tek seferde daha fazla yolcu taşımaya rağbet göstermektedir. Diğer taraftan bu durum yolcular bakımından standartların üzerinde yoğunluklu araçlarda seyahat etmenin verdiği konforsuzluğun yansısı, toplu ulaşım sisteminin tamamında var olan mevcut kapasiteyi verimli bir şekilde kullanılmasına engel teşkil etmektedir. Belirlenen hatlarda yolcu yoğunluk farklılıkları, elde edilen geliri doğrudan etkilemekte, beraberinde rekabete sebep olmaktadır. ÖHO işletmecileri arasındaki meydana gelen bu rekabet, kaynaklar planlanırken esnekliğe engel teşkil ederken, özellikle yeni açılan metro ve tramvay sistemleri ile şehrin yeni cazibe merkezlerinin değiştirdiği yolculuk gereksinimlerinin etkin olarak karşılanamamasına neden olmaktadır.

İstanbul toplu ulaşım sistemi için göz önünde bulundurulmuş yukarıdaki sayıların durumlar ve yaşanan pandemi koşullarında meydana gelen yolculuk sayılarındaki 90% varan azalmalar meydana gelmiştir. İstanbul toplu ulaşım sistemi için göz önünde bulundurulmuş yukarıdaki sayıların durumlar ve yaşanan pandemi koşulları neticesinde İstanbul Büyükşehir Belediye Meclisi tarafından alınan 17/09/2020 tarih ve 906 sayılı karar alınmıştır [12]. Buna göre İstanbul toplu ulaşım sisteminde yer alan ÖHO çalıştıkları güzergâhlarda maksimum verim elde edilmesi amacı ile yeniden işletme planlamalarının yapılmasına, beraberinde ÖHO işletmecilerinin de yolcu kaybı (gelir kaybı) endişesine meyil vermemek için yeni bir destekleme mekanizmasına geçilmiştir. Alınan meclis kararına istinaden imzalanan sözleşme çerçevesinde İstanbul lastik tekerlekli toplu ulaşım sisteminde yer alan özel halk otobüsleri için yaygın olarak kullanılan 12 m solo otobüsler ile birlikte 6,5-8 m, 8,1-9 m, 9,1-11 m ve çift katlı otobüsler göz önünde bulundurulmuş yaklaşım sunulmuştur. Nihai durumda sadece dizel otobüs konseptlerinin öngörüldüğü

<sup>†</sup> Personel maliyeti araç başına 2,5 katsayısını esas alan maaş maliyet kalemidir.

<sup>‡</sup> İstanbul Kart Okuma cihazı



meclis kararında alternatif yakıt sistemli araçlar değerlendirilmemiştir. İçten yanmalı dizel motorlu otobüslerin referans alındığı detaylı model kapsamında yapılacak hakedişlere esas parametrelerin sabit ve değişken maliyetler olarak 2 ana başlıklar halinde değerlendirilmiş ayrıca performans ödemesi şeklinde ilave bir ödeme kalemine de yer verilmiştir.

Ek 1’de ilgili İstanbul Büyükşehir Belediyesi Meclis kararı doğrultusunda imzalanan Brüt Maliyet Sözleşme Modeline esas parametrelerin, öngörülen otobüs konseptlerine göre birim fiyatları yer almaktadır. Ayrıca söz konusu parametrelerinden yakıt birim fiyatı EPDK fiyat verileri üzerinden her ay, diğer kalemler ise 3 farklı TÜİK endeksine göre ve ilgili baz dönemi esas alınarak güncelleneceği ifade edilmektedir [4][12].

Özellikle İstanbul toplu ulaşım sisteminde ÖHO çalıştığı hatlardaki farklı çalışma koşulları araçların ortalama yakıt tüketim miktarlarını da önemli ölçüde etkilemektedir. Modele esas temel maliyet kalemi olan akaryakıt tüketimine etki eden bu faktörler trafik yoğunluğu, yol altyapısı, yol eğimi, yolcu indii/bindi süreleri vb. gibi pariteler olup, söz konusu hatlarda çalışan otobüslerin sahip olduğu bu eşitsizliği normalize etmek amacıyla hat efor katsayı (HEK) ve işletmeye esas planlama endeksine göre de sefer gerçekleştirme oranı (SGO) değişkenleri ortaya konulmuştur. Son olarak yapılan ödemelere tüm maliyetler toplamına (performans ödemesi hariç) 3.75% oranında vergi dâhil edildiği belirtilmektedir [4][6][12].

Bu çalışmada İstanbul toplu ulaşım sistemindeki ÖHO işletmecilerinin tabi olduğu ve sadece içten yanmalı motorlu otobüslerin referans alındığı Net İşletme Modeline esas alternatif bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Buna göre elektrikli otobüslerle ÖHO işletmeciliği yapılmasını esas alan konsept uyarınca toplu ulaşım hizmetine dair işletme kaynaklı gelir ve gider maliyetleri hesaplanmıştır. Referans alınan aylık bazda ortalama km değerlerine göre söz konusu yaklaşımın dizel ve elektrikli otobüs kullanımı için karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ÖHO işletmecilerine önemli bir fırsat teşkil ederken; İETT nezdinde de sıfır emisyonlu toplu ulaşımına geçişte önemli bir farkındalık sağlamaktadır.

Ek 1’de ilgili İstanbul Büyükşehir Belediyesi Meclis kararı doğrultusunda imzalanan Brüt Maliyet Sözleşme Modeline esas parametrelerden yıpranma payı (amortisman), Adblue ve Sabit Bakım maliyetleri başlıkları, öngörülen elektrikli otobüslerle müteşekkil konsept yaklaşımı için Değişken Maliyetler başlığı altında değerlendirilmiştir. Zira işletme maliyetlerine esas bu kalemler özellikle elektrikli otobüs konseptlerinde avantaj teşkil etmektedir.

Tablo 2 İstanbul Toplu Ulaşım Sisteminde Özel Halk Otobüsleri Sabit Maliyet Dağılımları [12]

Sabit Maliyetler	12 m Dizel	12 m Elektrikli
<b>Zorunlu Trafik Sigortası</b>		
<b>Kasko</b>		
<b>Ferdi Kaza Sigortası</b>		
<b>Motorlu Taşıtlar Vergisi</b>		
<b>Araç Muayene</b>		
2,5 şoför/araç (ideal)	<b>Personel</b> <b>SGK, Vergi</b> <b>Kıdem Tazminatı</b>	
<b>Muhasebe</b>		
<b>Şirket Payı</b>		
<b>Personel Giyim</b>		
<b>Belediye Ruhsat Harcı</b>		
<b>Amortisman Bedeli (TL)</b>	10.137,38	23.653,88
<b>Sabit Bakım &amp; Onarım Maliyeti (TL)</b>	2.100,00	-
<b>Değişken Maliyetler</b>		
<b>AdBlue (TL/km)</b>	0,025	-
<b>Yakıt / Enerji Maliyeti (TL/km)</b>	2,78	0,39
<b>Bakım Maliyeti (TL/km)</b>	0,40	0,40
<b>Performans Ödemesi</b>	Sbt	sbt
<b>Vergi (3,75 %)</b>	eşit	eşit

Her 2 araç konsepti için eşit ve sabit olduğu değerlendirilmiştir.

Söz konusu bu maliyet giderlerinden Adblue, dizel yakıtlı ağır hizmet araçlarından meydana gelen NOx emisyonunu azaltmakta kullanılan katkı maddesidir. Bu çalışmaya esas toplu ulaşımında kullanılan 12 m’lik dizel otobüsler için Euro III ve sonrası dizel motor klasmanlarında kullanılmakta olan Adblue için ortalama 0,025 lt/km tüketimi gerçekleşmektedir [13]. Ancak Brüt Maliyet Sözleşme Modeline esas imzalanan sözleşme çerçevesinde Adblue kullanımından meydana gelen giderin sabit maliyetler arasından bir kalem olarak değerlendirildiği görülmektedir. Diğer taraftan sabit bakım maliyeti olarak ifade edilen özellikle dizel otobüs konseptleri için motor onarım/rektifiye (yenileme), elektrik, mekanik, kaporta, şanzıman ve klima gibi ağır revizyon faaliyetlerini

kapsayan gider kalemi de elektrikli otobüs konseptleri için önemli bir avantaj sunmaktadır. Değişken gider kalemleri arasında yer alan bakım maliyeti başlığı altında ise hem elektrikli hem de dizel otobüs konseptinde göz önünde bulundurulmuş, otobüs tahrik sisteminden bağımsız olarak kapılar, silecek, cam, lastik vb. basit otobüs bileşenlerin rutin bakımları için göz önünde bulundurulmuş gider kalemidir. Son olarak özellikle araç birim fiyatları için yıpranma paylarını esas alan amortisman maliyeti ise elektrikli otobüs konsepti için dezavantaj teşkil etmektedir. Bu kapsamda aynı evsafa 12 m solo şehir içi toplu ulaşım otobüs konsepti için yaklaşık amortisman maliyeti, elektrikli otobüsler için 133 %’lük bir maliyet artışını ortaya çıkarmaktadır [13].

Tablo 3 Analizlerde Kullanılan Diğer Birim Maliyetler

<b>AdBlue (lt)</b>	1.83	TL §
<b>Enerji Maliyeti (kWh)</b>	0.38	TL **
<b>Akaryakıt-Motorin- Maliyeti (lt)</b>	6.61	TL ††

Gerçekleştirilen hesaplamalarda İstanbul toplu ulaşım sisteminde ÖHO tarafından Şekil 2’de yer verilen en fazla sayıda araçla yapılan km değeri esas alınmıştır. Bu anlamda aylık ortalama 6,600 km değeri üzerinden 2 temel yaklaşım sunulmuştur.

Bu yaklaşımlara esas mevcut sistemde yeralan 12 m solo dizel ve öngörülen elektrikli otobüs konseptleri için belirlenen birim maliyetlerin baz alındığı sabit ve değişken maliyetlere Tablo 4 ‘de yer verilmiştir.

Tablo 4 Modele Esas 12 m Solo Dizel Ve Elektrikli Otobüs Konsepti İçin Hakediş Ödemeleri Birim Maliyetleri

	<b>Dizel</b>	<b>Elektrikli</b>
<b>Amortisman Bedeli (TL)</b>	10,137.38	23,653.88
<b>Sabit Bakım &amp; Onarım Maliyeti (TL)</b>	2,100.00	-
<b>AdBlue (TL/km)</b>	400.00	-
<b>Yakıt / Enerji Maliyeti (TL)</b>	18,348.00	2,588.86
<b>Bakım Maliyeti (TL)</b>	2,640.00	2,640.00

İlk yaklaşıma göre 12 m solo dizel otobüs için 6,600 km / ay esas alan hakediş ödemesindeki amortisman bedeli, sabit bakım & onarım bedeli (sabit gider), Adblue, akaryakıt tüketim bedeli, bakım bedeli (değişken gider) dahil toplam 33,625,38 TL/aylık hesaplanmaktadır. Benzer koşullarda 12 m solo elektrikli otobüs kullanılması esas alındığında ise bu değer 28,882,74 TL/aylık karşılık gelmektedir. Elektrikli otobüs için yaklaşık 133% oranında ilave amortisman bedeli eklenmesine rağmen elektrikli otobüs kullanımı koşulundan toplam maliyetlerde 14 % oranında, 4,742.64 TL/aylık kazanım söz konusudur.

Diğer bir yaklaşım için ise 2 alternatif öngörüle bulunulmuştur. İlk olarak yine benzer koşullar göz önünde bulundurularak, özellikle elektrikli otobüs konseptine dair dezavantaj teşkil eden amortisman maliyetleri için hiçbir ilave katkı sunulmaksızın sadece yapılan km değeri için elektrikli otobüs kullanımı şartının getirildiği minimum >10,000 km/aylık işletme planlaması (ve gerçekleştirilmesi) esas alınmıştır. Bu durumda dizel otobüse göre maliyetlerde 12,860,98 TL/aylık kazanım sağlanması söz konusu olmaktadır ki mevcut durumda İstanbul özelinde yaklaşık 200 adet ÖHO, >10,000 km üzerinde aylık işletme planlamasına sahiptir. Diğer alternatif için ise özellikle trafik yoğun olduğu hatlarda HEK formülasyonu nezdinde geliştirme yapılarak, elektrikli otobüslere özgü bir değer elde edilmiştir. Bu oran 6,600 km/aylık gerçekleştirilen işletme için 2.05 TL iken; 10,000 km için ise 1.35 TL olarak hesaplanmıştır.

Bu yaklaşımların hepsi mevcut İstanbul Büyükşehir Belediyesi Meclis kararı doğrultusunda uygulanabilmekte olup, herhangi bir karar değişikliğine ihtiyaç duyulmamaktadır. Ayrıca yıllık olarak meclise sunulacak öneriler doğrultusunda revizyona gidilebilecek olan yeni sözleşme modeli için ileriki süreçte elektrikli otobüs konseptinin dahil olma durumu da göz önünde bulundurulurak; elektrikli otobüs konseptlerine dair amortisman ödemesinin yapılacak hakedişlerde yer alması koşulu değerlendirilmiştir. Bu kapsamda yine ortalama 6,600 km için 16,159.14 TL; 10,000 km için ise 24,277.48 TL dizel otobüs konseptine göre elektrikli otobüslerle avantaj elde edilebileceği ortaya konulmuştur.

#### 4. Değerlendirme ve Sonuçlar

Sürdürülebilir şehirler endeksine göre toplu ulaşım hizmeti; şehir içindeki seyahat kalitesine, seyahat edilen araçlarının ne kadar çevreci olduğuna ve son olarak ulaşım sistemlerinin karlılığına göre değerlendirilmektedir [4]. Bu doğrultuda sürdürülebilir toplu ulaşım sistemleri açısından elektrikli otobüs kullanımı söz konusu belirtilen 3 temel unsur açısından da önemli kazanımlar sağlarken; bu çalışmada özellikle karlılık endeksine dair yaklaşım sunulmuştur. Elde edilen analiz sonuçlar doğrultusunda, Türkiye’de ilk defa lastik tekerlekli toplu ulaşım sistemi içerisinde ÖHO yönelik, elektrikli otobüs konseptine geçiş, İstanbul koşulları referans alınarak modellenmiştir.

Mevcut durumda İstanbul genelinde hizmet veren özel halk otobüslerinin işletme koşullarında araç başı ortalama 6,600 km/aylık gerçekleştirilen toplu ulaşım hizmeti için dizel ve elektrikli otobüs konseptlerinde aynı olan sabit maliyet kalemleri hariç tutulmak üzere; dizel otobüs konsepti için 42,625.38 TL/aylık ilave hakediş ödemesi gerçekleştirilmektedir. Bu tutar içerisinde modelde öngörülen modele esas sabit bakım & onarım, Adblue, yakıt ve değişken bakım maliyetleri için 23,488,00 TL hesaplanmıştır. Diğer taraftan elektrikli otobüs konsepti için ise aynı yaklaşım esas alınarak 40,188.44 TL/aylık ilave hakediş ödemesi öngörülmektedir. Bu tutar içerisinde elektrikli otobüs konsepti esas alınarak enerji ve değişken bakım maliyetleri için 7,534.56 TL hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda amortisman bedeli dahil edilmemiştir zira elektrikli otobüs konseptleri için bu bedel dizel otobüs konseptlerinden 133,33 % daha fazladır. Ortaya konulan yaklaşım ile İdare açısından mevcut maliyetleri arttırmadan elektrikli otobüs konsepti sunulması öngörülmektedir.

Bu kapsamda İETT tarafından mevcut sistemde dizel otobüs için belirlenen ödeme kalemleri esas alınarak 6,600 km/aylık toplu ulaşım hizmetine karşılık gelen nihai hakediş ödemesi (her iki konsept için ortak maliyet kalemleri hariç) performans bedeli dahil 42.625,38 TL’dir. Bu işletme koşullarında elektrikli otobüs kullanılması durumunda ise yine performans bedeli dahil 40,188.44 TL olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar baz alındığında aylık bazda 2,436.94 TL’lik ilave bir kazanç elektrikli otobüs kullanım koşullarında mümkün olmaktadır. İETT tarafından öngörülen modele teşvik amacı ile 10,000 km/aylık üzerindeki hatlarda elektrikli otobüs konseptine geçişi sağlaması ve/veya performans bedeli için elektrikli otobüslere dair ilave katsayı uygulaması vb. mekanizmalar da önemli ölçüde yaklaşımı desteklenerek, işletmeciler açısından teşvik sağlayacaktır. Ayrıca İETT tarafından yürürlüğe konulan yeni sözleşme modeli çerçevesinde, elektrikli otobüs konseptine dair ayrı bir amortisman bedelinin mevcut sistem dahil edilmesi durumunda

§ KDV dahil birim fiyat bedeli

\*\* 01.01.2021 tarihinden itibaren geçerli OG Dağıtım Sistemi Kullanıcısı, tek terimli, çok zamanlı gece puant tarifi için KDV, fon ve diğer pay hariç

†† 12.03.2021 İstanbul Anadolu Yakası motorin birim fiyatı bedeli

ise elektrikli otobüs konsepti için aylık bazda 22.884,00 TL kazanım sağlanabildiği yapılan hesaplamalarda ortaya konulmuştur.

Mevcut modelde elektrikli otobüslere dair sunulabilecek; 10,000 km/aylık üzerindeki hatlarda elektrikli otobüs kullanımının zorunlu kılınması ve/veya performans bedeli için elektrikli otobüslere dair ilave katsayı uygulaması vb. mekanizmalar da önemli ölçüde ortaya konulan yaklaşımı destekleyecek, özellikle ÖHO işletmecileri açısından farkındalık

sağlayacaktır. Ortaya konulan bu yaklaşım ile mevcut maliyetleri arttırmadan, ÖHO işletmecileri nezdinde elektrikli otobüs konseptine geçişe yaklaşım sağlamaktadır. İstanbul lastik tekerlekli toplu ulaşım sistemi için öngörülen E-Brüt Maliyet Sözleşme Modeline esas elektrikli otobüs konsepti, ÖHO işletmecileri için konforlu, sıfır emisyonlu ve işletme karlılığı yüksek alternatif çözüm ortaya koymaktadır

Ek\_1 Brüt Maliyet Sözleşme Modeline Esas Parametreler ve Birim Fiyatlar [12].

GİDER KALEMLERİ		12 Mdizel	ÇİFT KATLI	9,1-11 M	8,1-9 M	6,5-8 M
SABİT GİDER KALEMLERİ	Zorunlu Trafik Sigortası	₺542	₺1.084	₺542	₺542	₺542
	Kasko	₺1.000	₺1.315	₺808	₺600	₺450
	Ferdi Kaza Sigortası	₺60	₺60	₺60	₺60	₺60
	MTV ( Motorlu Taşıtlar Vergisi ) orta.	₺291	₺310	₺291	₺291	₺291
	TÜV-TÜRK Muayene	₺45	₺45	₺45	₺45	₺45
	Amortisman	₺7.500	₺9.865	₺6.060	₺4.500	₺3.375
	Personel (ideal 2,5 sürücü)	₺10.000	₺10.000	₺10.000	₺10.000	₺10.000
	SGK, vergi ve diğer ödemeler (ideal 2,5 kişi )	₺6.250	₺6.250	₺6.250	₺6.250	₺6.250
	Kıdem Tazminatı ( 2,5 personel )	₺1.149	₺1.149	₺1.149	₺1.149	₺1.149
	Muhasebe	₺500	₺500	₺500	₺500	₺500
	Şirket Payı	₺490	₺490	₺490	₺490	₺490
	Personel Elbisesi	₺150	₺150	₺150	₺150	₺150
	Belediye Ruhsat Harcı Ortalama	₺63	₺63	₺63	₺63	₺63
	sabit bakım	₺2.100	₺2.368	₺1.776	₺1.600	₺1.500
	Ad Blue	₺400	₺400	₺400	₺400	₺400
SABİT TOPLAM		₺30.540	₺34.049	₺28.584	₺26.640	₺25.265
DEĞİŞKEN GİDER KALEMLERİ	Yakıt (TL/Km)	₺2,78	₺3,24	₺2,16	₺1,98	₺1,73
	Bakım (TL/Km)	₺0,40	₺0,45	₺0,35	₺0,30	₺0,29
DEĞİŞKEN TOPLAM		₺3,18	₺3,69	₺2,51	₺2,28	₺2,02
MALİYET TOPLAMI (6600 Km yapan araç)		₺51.520	₺58.418	₺45.158	₺41.662	₺38.591
	Performans Ödemesi (2. 6 ay için)	₺9.000	₺10.200	₺8.400	₺7.800	₺7.200
	Ortalama Yakıt lt/km	₺0,45	₺0,52	₺0,35	₺0,32	₺0,28

## Kaynakça

- [1] İETT Genel Müdürlüğü ÖHO Hakediş Modeli Yönergesi
- [2] The International Energy Agency, Data and Statistics, IEA CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/co2-emissions-statistics> (erişim tarihi 05/11/2021 )
- [3] Zimmermann, M., Van Begijn, G., & Cristóbal, I. V. (2010). The International Local Government Climate Roadmap. Local Governments and Climate Change, Dordrecht, Heidelberg, London and New York: Springer, 79-89.
- [4] Cora U., Su Ö.A., Kışla R.,(2021).Asya "Kentiçi Toplu Taşıma Araçları için Performansa Dayalı Hakediş Sistemi: İstanbul Örneği" Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (-kabul edildi).
- [5] İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Dairesi Başkanlığı, Toplu Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü, Kurumsal Bilgiler, <https://tuhim.istanbul/tr> (erişim tarihi 05/11/2021 )
- [6] İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2017 Faaliyet Raporu, İETT Genel Müdürlüğü, <https://iett.istanbul/webimage/files/%C4%B0ETT%202017%20FAAL%C4%B0YET%20RAPORU.pdf>(erişimtarihi 05/11/2021 )
- [7] İstanbul Yıllık Ulaşım Raporu 2017, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Dairesi Başkanlığı, Toplu Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü [https://tuhim.ibb.gov.tr/media/2171/%C4%B0bb-ula%C5%9Fim-raporu-2017-tr\\_son.pdf](https://tuhim.ibb.gov.tr/media/2171/%C4%B0bb-ula%C5%9Fim-raporu-2017-tr_son.pdf) (erişim tarihi 05/11/2021 )
- [8] Toplu Ulaşımında Modlar Arası Entegrasyon Vizyonu Ortak Akıl Konferansı Sonuç Raporu , İstanbul Yıllık Ulaşım Raporu 2017, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Dairesi Başkanlığı, Toplu Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü
- [9] İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü Kurumsal Bilgiler, <https://iett.istanbul/tr> (erişim tarihi 05/11/2021 )
- [10] İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü Toplu Ulaşım Yönetim Sistemi Projesi "Hakediş Modeli Sonuç Raporu " TUYS Porjesi 2016
- [11] İETT Kurtköy Planlama Hat İşletme Planlanmaları Ocak – Mart 2019
- [12] 17/09/2020 tarih ve 906 nolu İstanbul Büyükşehir Belediyesi Meclisi Meclis Kararı
- [13] Topal, O., & Nakir, İ. (2018). Total cost of ownership based economic analysis of diesel, CNG and electric bus concepts for the public transport in Istanbul City. Energies, 11(9), 2369.



# Evaluation of some flavanones as potential inhibitors for SARS-CoV-2 by molecular docking and pharmacological analysis

Fatma Nur Özkömeç<sup>1</sup>, Mustafa Çeşme<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Art and Sciences, Department of Biology, Kahramanmaraş, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7789-735X), [fatmanurozkomec@ksu.edu.tr](mailto:fatmanurozkomec@ksu.edu.tr)

<sup>2\*</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Art and Sciences, Department of Chemistry, Kahramanmaraş, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2020-5965), [mustafacesme@msn.com](mailto:mustafacesme@msn.com)

(First received 17 October 2021 and in final form 2 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010924)

**ATIF/REFERENCE:** Özkömeç, F. N. & Çeşme, M. (2021). Evaluation of some flavanones as potential inhibitors for SARS-CoV-2 by molecular docking and pharmacological analysis. *European Journal of Science and Technology*, (31), 974-981.

## Abstract

The novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) was first described in December 2019 and then rapidly turned into a global epidemic. Although various preventive vaccines for COVID 19 disease have been developed at an astonishing pace, the lack of effective antiviral drugs against Coronavirus makes it necessary to identify therapeutic and preventive drugs. Within the scope of this study, natural plant-derived Eriodictyol, Hesperetin and Naringenin compounds were investigated by *in silico* methods by adopting a drug repositioning approach. In this context, the affinity of the three compounds against SARS-CoV-2 main protease was investigated by the molecular docking method, and their binding energies were calculated as -7.3, -7.2 and -7.7 kcal/mol, respectively. The resulting protein-flavanone compounds formed stable complex structures. In the other part of the study, these compounds' pharmacological and physicochemical properties were examined under the ADME standards, observing the Lipinski rules, and it was found that the compounds exhibited a high bioavailability profile.

**Keywords:** Flavanones, SARS-CoV-2, *In silico*, molecular docking, ADME.

## Moleküler kenetlenme ve farmakolojik analiz ile SARS-CoV-2 için potansiyel inhibitörler olarak bazı flavanonların değerlendirilmesi

### Öz

Yeni koronavirüs hastalığı 2019 (COVID-19) ilk olarak Aralık 2019 itibariyle rapor edilmiş daha sonra hızla küresel bir salgına dönüşmüştür. COVID 19 hastalığına yönelik çeşitli önleyici aşılarda şaşırtıcı bir hızla geliştirilmiş olmasına rağmen Koronavirüse karşı etkili antiviral ilaçların bulunmaması, tedavi edici ve koruyucu ilaçların tanımlanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışma kapsamında ilaç yeniden konumlandırma yaklaşımı benimsenerek doğal bitki kaynaklı olan Eriodictyol, Hesperetin and Naringenin bileşikler *in silico* yöntemlerle incelenmiştir. Bu bağlamda üç bileşiğin SARS-CoV-2 main protease karşı afinitesi moleküler docking yöntemiyle incelenmiş bağlanma enerjileri sırasıyla -7.3, -7.2 ve -7.7 kcal/mol olarak hesaplanmıştır. Oluşan protein-flavanon bileşikler kararlı kompleks yapılar oluşturmuştur. Çalışmanın diğer bölümünde ise bu bileşiklerin farmakolojik ve fizyokimyasal özellikleri ADME standartları ölçüsünde Lipinski kuralları gözetilerek incelenmiş ve bileşiklerin yüksek biyoyararlanım profili sergilediği bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Flavanonlar, SARS-CoV-2, *In silico*, moleküler kenetlenme, ADME.

\* Corresponding Author: [mustafacesme@msn.com](mailto:mustafacesme@msn.com)



## 1. Introduction

The novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) was first described in China as of December 2019 and has subsequently expanded into a global outbreak leading to intense adverse and uneven social and economic desolation (Chaudhry et al., 2020). A strain of coronaviruses causes the disease called the severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2). COVID-19 was characterized as a global pandemic by the World Health Organization (WHO) in March 2020 (Huang et al., 2020). The vast transmission of this virus and the uneven mortality have led to immeasurable global social and economic damage, which will take time to repair. According to the WHO, at least 240 million reported global cases and over 4.8 million globally reported Covid-19 deaths (*COVID Live Update: Coronavirus - Worldometer*). The vast transmission of this virus and the uneven mortality have led to immeasurable global, social, and economic damage, which will take time to repair.

Several preventative vaccines for the COVID 19 disease were developed surprisingly quickly and made accessible to the community worldwide to reduce the spread of COVID-19, displaying a profile that evokes a sense of normalcy in society. However, with the global prevalence of viral infections, the emergence of virus variants is a cause for concern and may limit vaccine efficacy. The absence of efficient antiviral drugs against Coronavirus necessitates the identification of therapeutic and preventive drugs. However, the global prevalence of viral infections and the emergence of virus variants cause concern and limit the vaccine's effectiveness.

Currently, vaccination activities continue at full speed on a global scale. The fact that no effective antiviral drugs against the Coronavirus have yet been found for nearly two years, the highly contagious nature of COVID-19, and its rapid spread have prompted researchers to work very dense to find a treatment to slow or reduce the spread of the infection. In this context, researchers have focused their attention on antiviral compounds targeting main protease, RNA polymerase, and spike glycoprotein that have been tested in in-vitro and in-vivo studies employing the concept of in silico drug repurposing.

Studies show that phytochemicals, such as phenolic acids, alkaloids, and terpenoids, have extensive antiviral properties and are widely proposed for COVID-19 therapies. Flavonoids have been proposed for use as COVID-19 therapies owing to their broad antimicrobial properties, low toxicity, antioxidant properties, and other health benefits (Azim et al., 2020; Deng et al., 2020; Kumar Verma et al., 2021). Natural plant-derived flavonoids have beneficial effects on neurodegenerative disease, type 2 diabetes, atherosclerosis, cardiovascular disease and cancer (Bora et al., 2020; Peterson, 2020). However, it is known to exert a wide variety of antiviral effects. In this context, inhibition of SARS-CoV-2 major protease (Mpro) at the active site may be a promising alternative for selective therapy design with less impact on human health. Although some studies suggest that flavonoids may inhibit the activity of this protease, the main reasons for this are the Inhibitory abilities of these natural compounds, the presence of numerous acceptors, donor, hydrophobic and aromatic functional groups that contribute to their therapeutic effects. Flavonoids, which represent a vital part of the human diet, are generally abundant in oilseeds, fruits, flowers, nuts and vegetables, increasing the ease of treatment (Aishwarya et al., 2021; Cheke, 2020; Negi et al., 2020).

In this study, natural phenolic compounds of Eriodictyol, Hesperetin, and Naringenin, belonging to the group known as flavanones (Figure 1), were investigated *in silico* methods for their pharmacological properties and activity against SARS-CoV-2 main protease (Mpro).

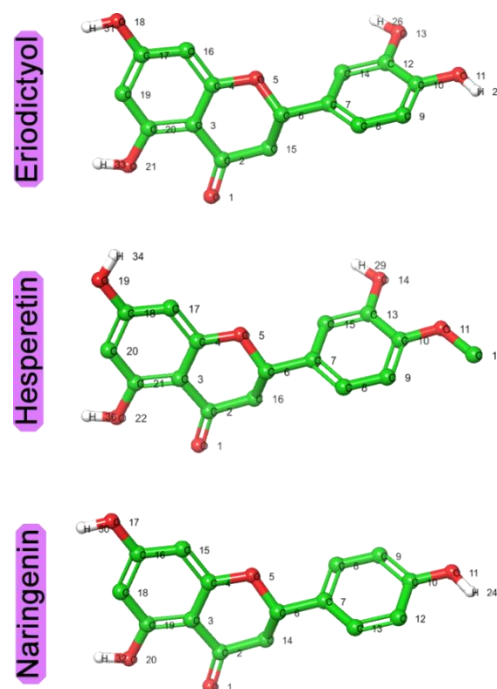


Figure 1. Chemical structures of flavanone compounds.

## 2. Methods and Materials

### 2.1. Ligand Preparation

The 2D structures of flavanones (Eriodictyol, Hesperetin, and Naringenin) were taken from PubChem and their 3D structures were minimized by Chem3D 19 using the MM2 minimization algorithm.

### 2.2. Receptor Preparation

The X-ray crystal structure of the main protease in complex with an inhibitor N3 (native ligand) (PDB code: 6LU7, 2.16 Å) was obtained from protein data bank 'PDB' ([www.rcsb.org](http://www.rcsb.org)). Hetero compounds such as water, ions, and ligands in the protein structure were extracted using Discovery Studio 2020 software. The downloaded crystal structure of the protein target was converted to PDB format for the molecular docking process and saved.

### 2.3. Molecular Docking Process

In silico molecular docking studies, compounds were assessed against 6LU7, and the Vina module performed docking scoring functionality using PyRx docking software (Onur et al., 2021). The algorithm of the docking software with the optimal configuration parameters (binding modes-9, exhaustiveness-8, grid box center with x, y and z coordinates of the residue location of the target protein) was used to perform docking-based studies on the proposed inhibitor for CoV-2 protease. In the parent protease (PDB ID: 6LU7), a peptide-like co-ligand (N3 native ligand) is covalently bound with the CYS-145 receptor residue. Therefore, in docking procedures, the receptor grid of the protease was chosen by limiting it to residues occupied by the N3 ligand and interacting with the ligand

domain. The grid at the ligand-binding site of the 6LU7 protein is centered at the binding site of X: -11, Y:14, Z:69, and the grid dimensions are 22 x 32 x 32 Å<sup>3</sup>. All other software parameters were set as default, and all of the ligand's bonds were permitted to rotate freely because the receptor was assumed to be rigid (Isika et al., 2020; Şahin et al., 2022). The results of the best docking poses of the interactions were analyzed in two- and three-dimensions using Discovery Studio 2020.

## 2.4. Cheminformatics Studies

The binding affinity of inhibitors to their target proteins should be examined by assessments such as the ADME analysis of the similarity of inhibitors to drugs in a biological system to check the suitability of inhibitors as potential drugs in a biological system. The inhibition properties of flavanone compounds were studied via the SWISS ADME (Daina et al., 2017) web software to identify various physicochemical descriptors and predict ADME (Adsorption, Distribution, Metabolism and Excretion) parameters. The molecules were evaluated for pharmacokinetic properties, drug-like structure, and suitability for medicinal chemistry. The pharmacokinetic properties of compounds and their suitability in a biological system were revealed using Lipinski Rule of Five (RO5) approaches (Şahin et al., 2022).

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Molecular Docking

Repurposing and repositioning drugs and drug candidate molecules for COVID-19 have been a focus of interest among researchers working in computational chemistry and biology, especially after the onset of the coronavirus epidemic, due to the long discovery and validation periods of new drugs. At this stage, selecting target proteins and enzymes for the repurposing of drugs is an important step. Molecular docking can reveal whether the ligand/drug is docked with the receptor protein and can show the results as an array of docked complex structures with lower binding energy. This study chose the validated and highly researched main protease Mpro as the target for use against COVID-19 (Parveen & Alnoman, 2021). Molecular docking experiments were conducted on three different compounds to identify a possible candidate for treating COVID-19. This study has used the crystal structure of SARS-CoV-2 Mpro (PDB ID: 6LU7) (Figure 2) as the target receptor. SARS-CoV-2 Mpro is the main protease of the new strain of 2019 coronavirus disease (Jin et al., 2020). It is a protein that intercedes the virus's replication and transcription, so the protease is often the target of the virus's potential inhibitors in drug discovery and development. This protease Mpro has a chain of 306 amino acids and involves three main domains (Kalai et al., 2021; Naveja et al., 2021). Domain I is from residues 8-101, domain 2 is from 102 to 184, domain III is the amino acid sequence 201 to 303 and linked to domain II by loop residues 185-200. The substrate-binding site on this viral protein is present in a cleft between domains I and II with a Cys145-His41 catalytic dyad. Main active subsites in the active Mpro site to which the substrate is attached are identified. Thus, the S1 subdomain consists of amino acids Phe140, Leu141, Asn142, His163, Glu166, and His172. The hydrophobic S2 subdomain consists of His41, Met49, Tyr54, Met165, and Asp187. The S4 binding subdomain contains amino acids Met165, Leu167, Phe185, Gln189, and Gln192 (Jin et al., 2020; Teli et al., 2021).

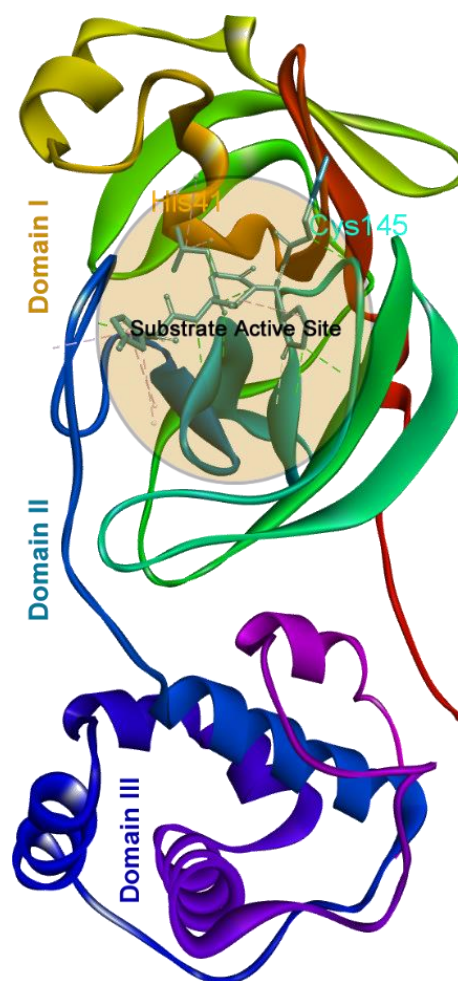


Figure 2. Crystal structure of 6LU7.

Before beginning the molecular docking procedure, it is necessary to get the electrophilic and nucleophilic sites of the ligands to make an initial estimate and understand which probable atoms or functional groups can interact with the appropriate domain or active sites protein. Calculating the molecular electrostatic potential (MEP) in drug research and development is critical for confirming molecule reactivity as inhibitors (Şahin et al., 2022). Although the molecular size and formation of the electrostatic potentials (positive, negative, and neutral) are indicated by MEP, these approaches can be an informative tool for predicting and interpreting the molecular structure of the compounds under investigation and their investigation physicochemical structure-activity relationships and properties. Furthermore, MEP is a beneficial and informative notion for predicting the reactivity of a drug to electrophilic and nucleophilic attacks. The three compounds were determined utilizing the Adaptive Poisson-Boltzmann Solvent (APBS) method and are shown in Figure 3. The rule of thumb here is that the highest negative region in the MEP is the preferred region for the electrophilic attack, shown in red while saturating the blue moieties on the map in the opposite direction. It attracts an electrophile attacking negatively charged moieties.

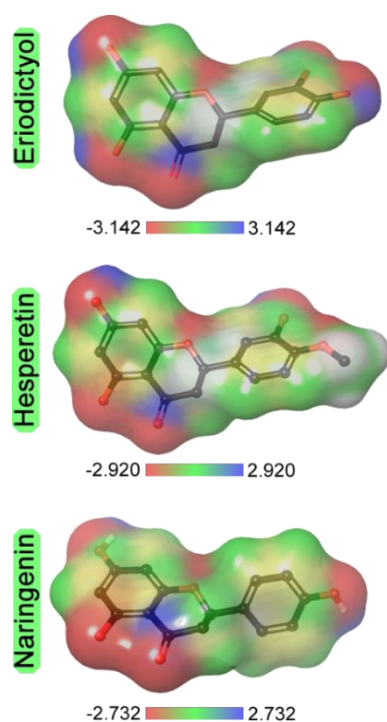


Figure 3. Molecular electrostatic potential of flavanone compounds.

This research has investigated the affinity of three molecules that belong to flavanones against 6LU7. The molecular docking results are given in Table 1 by summarizing their binding affinities and binding modes with interacting amino acids. Based on the binding interaction obtained from docking data, all molecules showed a high affinity for the active binding pocket protease, ranging from -7.2 to -7.7 kcal/mol, with the highest binding energies was found for compound Naringenin as -7.7 kcal/mol. When all protein-flavanone complexes are examined in general, it is possible to say that conventional H bond and hydrophobic interactions come to the fore while forming stable enzyme-compound complexes in binding the compounds to the protease's active site.

When the interaction of the Eriodictyol compound with the residues in the enzyme's active site was examined, it was observed that it made four different hydrogen bond interactions and two different pi alkyl interactions. Three of the hydrogen bonds formed were realized from the H atoms on the molecule to these residues with ARG188, CYS145 and LEU141. The GLU166 residue, on the other hand, interacting with the hydroxyl group oxygen connected to the double benzene ring in Eriodictyol. Two different hydrophobic pi alkyl interactions were constructed from the benzene ring to CYS145 and MET165 (Figure 4).

When the interactions between the Hesperetin compound and the protease are examined, it is seen that the H-bond interaction and hydrophobic interactions come to the fore. Accordingly, all H-bonds formed are from the Hesperetin molecule via amino acids MET165, LEU141, GLU166 and MET49. Of the hydrophobic interactions formed, pi alkyl interactions were achieved with MET165 and MET49 residues, while pi-pi T-shaped binding was achieved with HIS41 (Figure 5).

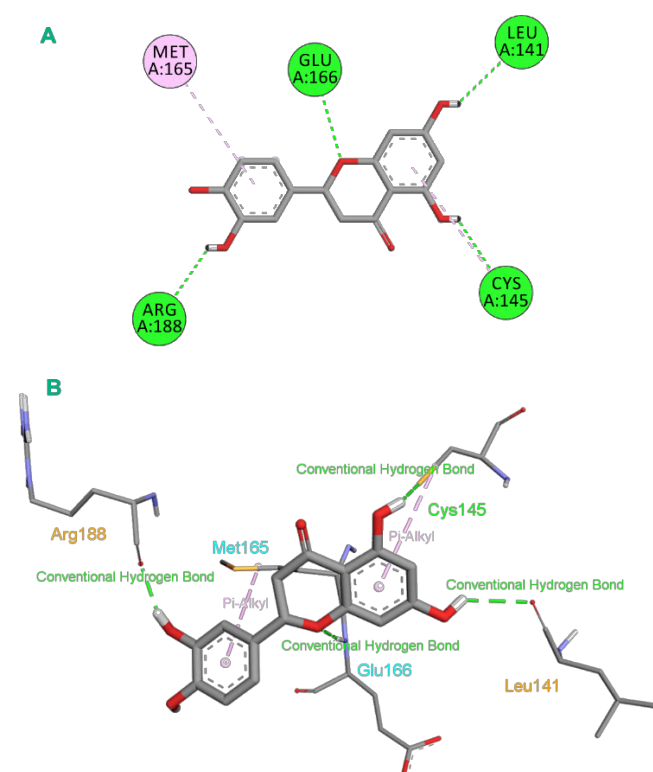


Figure 4. 2D (A) and 3D (B) docked pose depiction of Eriodictyol compound.

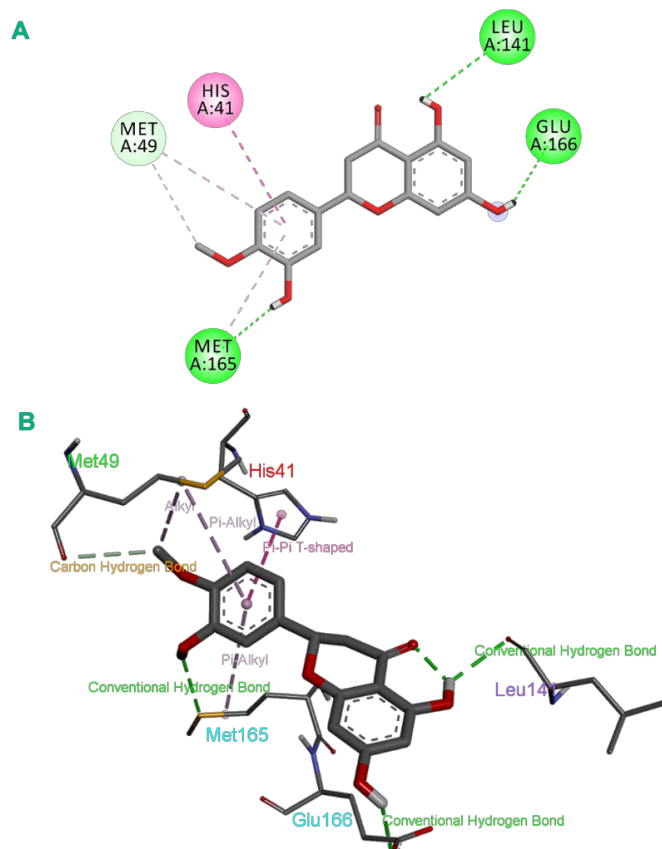


Figure 5. 2D (A) and 3D (B) docked pose depiction of Hesperetin compound.

When the complex structure of the Naringenin compound with protease is examined, it is seen that hydrogen bond interaction and hydrophobic interactions come to the fore. In addition, electrostatic-pi cation interaction occurred between the



amino acid residue HIS163 and the benzene ring with two hydroxyl groups in the structure of Naringenin. While the H bonds formed were realized through LEU141 and SER144 and Naringenin, Hydrophobic alkyl interactions was observed between MET49 and Hesperetin methoxy group (O-CH<sub>3</sub>). GLY143 and GLU166 residues formed H bonds towards O1 and O4 atoms in the Naringenin molecule, respectively. The abundance and diversity of interactions between the Naringenin molecule and the residues in the active site played an important role in forming a stable complex structure (Figure 6).

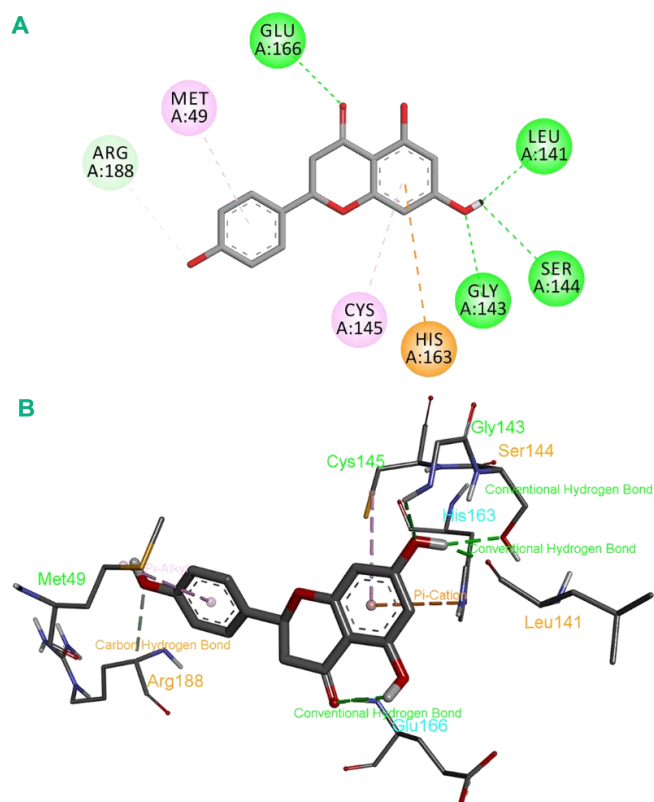


Figure 6. 2D (A) and 3D (B) docked pose depiction of Naringenin compound.

Table 1. Detailed Interactions types and distances of compound-protein complexes.

Score	Interaction (:From-To)	Distance (Å)	Bonding Types
-7,3	:Eriodictyol:H5 - A:ARG188:O	2.00568	H-Bond
	:Eriodictyol:H12 - A:CYS145:SG	2.83967	H-Bond
	:Eriodictyol:H10 - A:LEU141:O	2.62109	H-Bond
	A:GLU166:HN - :Eriodictyol:O2	2.44241	H-Bond
	:Eriodictyol - A:CYS145	5.37042	Pi-Alkyl
	:Eriodictyol - A:MET165	5.43166	Pi-Alkyl
-7,2	:Hesperetin:H7 - A:MET165:SD	2.93024	H-Bond
	:Hesperetin:H14 - A:LEU141:O	2.56075	H-Bond
	:Hesperetin:H12 - A:GLU166:OE1	2.38731	H-Bond
	:Hesperetin:C9 - A:MET49:O	3.75115	C-H Bond
	A:HIS41 - :Hesperetin	4.75631	Pi-Pi T-shaped
	:Hesperetin:C9 - A:MET49	3.94633	Alkyl-
	:Hesperetin - A:MET49	5.32493	Pi-Alkyl-
	:Hesperetin - A:MET165	5.30359	Pi-Alkyl
-7,7	: Hesperetin:H10 - A:LEU141:O	1.96568	H-Bond
	:Naringenin:H10 - A:SER144:OG	2.6652	H-Bond
	A:GLY143:HN - :Naringenin:O4	2.31025	H-Bond
	A:GLU166:HN - :Naringenin:O1	2.29459	H-Bond
	A:ARG188:CA - :Naringenin:O3	3.63977	C-H Bond
	A:HIS163:NE2 - :Naringenin	4.94769	Pi-Cation
	:Naringenin - A:CYS145	4.90713	Pi-Alkyl
	:Naringenin - A:MET49	4.47598	Pi-Alkyl



### 3.2. In-silico ADME Findings

The ADME data speeds up the drug discovery process by facilitating the choice and determination of the medicinal dose of molecules with an ideal safety profile in the preliminary stages of drug candidate molecules. In this way, evaluation times are accelerated in the effective drug design process, and time and valuable resources are wasted. Determination of the pharmacokinetic properties of chemical compounds or drug candidate molecules, such as absorption, distribution, metabolism, and excretion (ADME), is essential during candidate molecule identification. The rule proposed by Lipinski (RO5: rule of five) was formulated in research where the preponderance of orally administered drugs are relatively small to moderately lipophilic molecules (Alghamdi et al., 2021; Kumar et al., 2020). These five rules (RO5) are a practical tool that provides much information about oral activity in humans, as well as evaluating drug similarity or understanding whether a chemical compound with a particular pharmacological or biological activity has optimal chemical and physical properties. The rule's validity for a molecule is ensured if it has five or fewer hydrogen bond donors, its MW is below 500, the logP value is below 5, and the N and O atoms are ten or less. As a result, when one or more of these rules are violated, properties such as poor absorption or permeability for chemicals and therapeutic candidates are more likely to be affected. Partition coefficient (log Po/w), points bioavailability, water-solubility, synthetic accessibility, molecular weight, hydrogen bond properties (receiver, transmitter), rotating bonds, the number of atoms, topological polar surface area (TPSA), such as molecular properties, and rules of Lipinski are shown in Table 2 were obtained to assess the similarity of the compounds to drugs.

The Lipinski rule does not recommend more than one violation of an orally bioactive molecules. The ADME results obtained from the calculations revealed that all values obtained for compounds remained within the defined limits as specified in Lipinski's RO5 (Bharti & Shukla, 2021; Kouznetsov, 2020). All parameters indicated in Table 2 revealed that the compounds wholly complied with the Lipinski rules and did not violate any of these rules.

For a quick assessment of drug-likeness, the bioavailability radar charts of the compounds were inspected. Lipophilicity (LIPO), size (SIZE), polarity (POLAR), solubility (INSOLU), flexibility (FLEX), and saturation (INSATU) are the six

physicochemical factors identified in this radar plot. Radar chart plot range is displayed as a pink area on each axis, created by default with identifiers adapted from SwissADME; the colored pink area in this radar plot specifies the boundaries of these descriptors, and a compound must fall within the radar plot to be deemed genuinely drug-like (pink hexagon). The bioavailability radar charts show that all synthetic compounds have a high oral bioavailability profile, consistent with this concept (Figure 7).

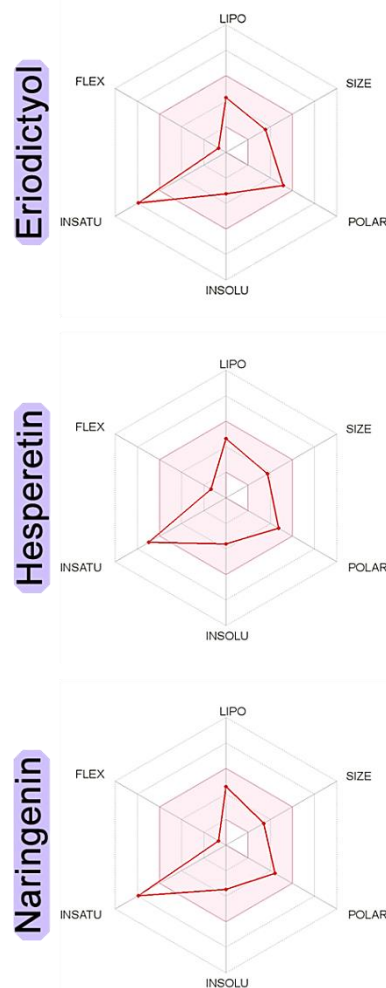


Figure 7. Bioavailability radar related to physicochemical properties of molecules.

Table 2. Physicochemical and pharmacological features of compounds

	MW	GI Abs	BBB	TPSA(Å <sup>2</sup> )	RB	HBA	HBD	Log Po/w	LV	BS	SA	WS
	Rules											
Comp.	<500	-	-	<130	≤ 9	≤ 10	≤ 5	≤ 5	≤ 1	-	-	-
Eriodictyol	288.25	High	No	107.22	1	6	4	1.45	0	0.55	3.11	-3.26
Hesperetin	302.28	High	No	96.22	1	6	3	1.91	0	0.55	3.22	-3.62
Naringenin	272.25	High	No	86.99	1	5	3	1.84	0	0.55	3.01	-3.49

Key: MW: Molecular weight (gr/mol). GI Abs: Gastrointestinal absorption. BBB: Blood brain barrier permeant. TPSA: Topological polar surface area. RB: number of rotatable bonds. HBA: number of hydrogen bond acceptors. HBD: number of hydrogen bond donors. LV: number of Lipinski rule of 5 violations. Log Po/w (iLOGP): Lipophilicity. BS: Bioavailability score. SA: Synthetic accessibility [From 1 (very easy) to 10 (very difficult)]. WS: Water solubility. Log S (Insoluble < -10 < Poorly < -6 < Moderately < -4 < Soluble < -2 Very < 0 < Highly)

## 4. Conclusions and Recommendations

So far, no drug has been commercially available for the treatment and prevention of COVID-19. This study aimed to examine various medicinal plant-derived compounds that can be used to inhibit the COVID-19 infection pathway. In this context, the activity of Eriodictyol, Hesperetin and Naringenin compounds, which are members of the flavanone family, against SARS-CoV-2 main protease was investigated by molecular docking method. Molecular docking results revealed that all three compounds formed stable complex structures with the target protein. In addition to molecular docking studies, the pharmacological properties of the compounds were also studied in detail. The ADME data obtained for all three compounds were within the prescribed limits and no Lipinski rule was violated. However, more research is needed to examine and explore the potential uses of these compounds as drugs.

## References

- Aishwarya, S., Gunasekaran, K., Sagaya Jansi, R., & Sangeetha, G. (2021). From genomes to molecular dynamics – A bottom up approach in extrication of SARS CoV-2 main protease inhibitors. *Computational Toxicology*, 18(December 2020), 100156. <https://doi.org/10.1016/j.comtox.2021.100156>
- Alghamdi, H. A., Attique, S. A., Yan, W., Arooj, A., Albulym, O., Zhu, D., Bilal, M., & Nawaz, M. Z. (2021). Repurposing the inhibitors of COVID-19 key proteins through molecular docking approach. *Process Biochemistry*, 110(May), 216–222. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.08.015>
- Azim, K. F., Ahmed, S. R., Banik, A., Khan, M. M. R., Deb, A., & Somana, S. R. (2020). Screening and druggability analysis of some plant metabolites against SARS-CoV-2: An integrative computational approach. *Informatics in Medicine Unlocked*, 20, 100367. <https://doi.org/10.1016/j.imu.2020.100367>
- Bharti, R., & Shukla, S. K. (2021). Molecules against COVID-19: An in Silico Approach for Drug Development. *Journal of Electronic Science and Technology*, 19(1), 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.jnlest.2021.100095>
- Bora, A., Pacureanu, L., & Crisan, L. (2020). In Silico Study of Some Natural Flavonoids as Potential Agents against COVID-19: Preliminary Results. *Chemistry Proceedings*, 3(1), 25. <https://doi.org/10.3390/ecsoc-24-08343>
- Chaudhry, S. N., Hazafa, A., Mumtaz, M., Kalsoom, U., Abbas, S., Kainaat, A., Bilal, S., Zafar, N., Siddique, A., & Zafar, A. (2020). New insights on possible vaccine development against SARS-CoV-2. *Life Sciences*, 260, 118421. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2020.118421>
- Cheke, R. S. (2020). The Molecular Docking Study of Potential Drug Candidates Showing Anti-COVID-19 Activity by Exploring of Therapeutic Targets of SARS-CoV-2. *Eurasian Journal of Medicine and Oncology*, 4(3), 185–195. <https://doi.org/10.14744/ejmo.2020.31503>
- COVID Live Update: Coronavirus - Worldometer. Retrieved October 15, 2021, from <https://www.worldometers.info/coronavirus/>
- Daina, A., Michielin, O., & Zoete, V. (2017). SwissADME: A free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules. *Scientific Reports*, 7(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/srep42717>
- Deng, J., Hou, X., Zhang, T., Bai, G., Hao, E., Chu, J. J. H., Wattanathorn, J., Sirisa-ard, P., Soo Ee, C., Low, J., & Liu, C. (2020). Carry forward advantages of traditional medicines in prevention and control of outbreak of COVID-19 pandemic. *Chinese Herbal Medicines*, 12(3), 207–213. <https://doi.org/10.1016/j.chmed.2020.05.003>
- Huang, F., Li, Y., Leung, E. L. H., Liu, X., Liu, K., Wang, Q., Lan, Y., Li, X., Yu, H., Cui, L., Luo, H., & Luo, L. (2020). A review of therapeutic agents and Chinese herbal medicines against SARS-COV-2 (COVID-19). *Pharmacological Research*, 158(April), 104929. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2020.104929>
- Isika, D., Çeşme, M., Osonga, F. J., & Sadik, O. A. (2020). Novel quercetin and apigenin-acetamide derivatives: Design, synthesis, characterization, biological evaluation and molecular docking studies. *RSC Advances*, 10(42), 25046–25058. <https://doi.org/10.1039/d0ra04559d>
- Jin, Z., Du, X., Xu, Y., Deng, Y., Liu, M., Zhao, Y., Zhang, B., Li, X., Zhang, L., Peng, C., Duan, Y., Yu, J., Wang, L., Yang, K., Liu, F., Jiang, R., Yang, X. X. X. X., You, T., Liu, X. X. X., ... Yang, H. (2020). Structure of Mpro from SARS-CoV-2 and discovery of its inhibitors. *Nature*, 582(7811), 289–293. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2223-y>
- Kalai, F. El, Çınar, E. B., Lai, C. H., Daoui, S., Chelfi, T., Allali, M., Dege, N., Karrouchi, K., & Benchat, N. (2021). Synthesis, spectroscopy, crystal structure, TGA/DTA study, DFT and molecular docking investigations of (E)-4-(4-methylbenzyl)-6-styrylpyridazin-3(2H)-one. *Journal of Molecular Structure*, 1228, 129435. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129435>
- Kouznetsov, V. V. (2020). COVID-19 treatment: Much research and testing, but far, few magic bullets against SARS-CoV-2 coronavirus. In *European Journal of Medicinal Chemistry* (Vol. 203). Elsevier Masson SAS. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112647>
- Kumar, A., Choudhir, G., Shukla, S. K., Sharma, M., Tyagi, P., Bhushan, A., & Rathore, M. (2020). Identification of phytochemical inhibitors against main protease of COVID-19 using molecular modeling approaches. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 0(0), 1–11. <https://doi.org/10.1080/07391102.2020.1772112>
- Kumar Verma, A., Kumar, V., Singh, S., Goswami, B. C., Camps, I., Sekar, A., Yoon, S., & Lee, K. W. (2021). Repurposing potential of Ayurvedic medicinal plants derived active principles against SARS-CoV-2 associated target proteins revealed by molecular docking, molecular dynamics and MM-PBSA studies. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 137, 111356. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111356>
- Naveja, J. J., Madariaga-Mazón, A., Flores-Murrieta, F., Granados-Montiel, J., Maradiaga-Ceceña, M., Alaniz, V. D., Maldonado-Rodríguez, M., García-Morales, J., Senosiain-Peláez, J. P., & Martínez-Mayorga, K. (2021). Union is strength: antiviral and anti-inflammatory drugs for COVID-19. *Drug Discovery Today*, 26(1), 229–239. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2020.10.018>
- Negi, M., Chawla, P. A., Faruk, A., & Chawla, V. (2020). Role of heterocyclic compounds in SARS and SARS CoV-2 pandemic. *Bioorganic Chemistry*, 104(August), 104315. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2020.104315>
- Onur, S., Çeşme, M., Köse, M., & Tümer, F. (2021). New imino-methoxy derivatives: design, synthesis, characterization, antimicrobial activity, DNA interaction and molecular

- docking studies. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 0(0), 1–13. <https://doi.org/10.1080/07391102.2021.1955741>
- Parveen, S., & Alnoman, R. B. (2021). Potential exploration of recent FDA-approved anticancer drugs against models of SARS-CoV-2's main protease and spike glycoprotein: A computational study. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(3), 10059–10073. <https://doi.org/10.33263/BRIAC113.1005910073>
- Peterson, L. (2020). COVID-19 and Flavonoids: In Silico Molecular Dynamics Docking to the Active Catalytic Site of SARS-CoV and SARS-CoV-2 Main Protease. *SSRN Electronic Journal*, May. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3599426>
- Şahin, İ., Çeşme, M., Özgeriş, F. B., Güngör, Ö., & Tümer, F. (2022). Design and synthesis of 1,4-disubstituted 1,2,3-triazoles: Biological evaluation, in silico molecular docking and ADME screening. *Journal of Molecular Structure*, 1247, 131344. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.131344>
- Teli, D. M., Shah, M. B., & Chhabria, M. T. (2021). In silico Screening of Natural Compounds as Potential Inhibitors of SARS-CoV-2 Main Protease and Spike RBD: Targets for COVID-19. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 7(January), 599079. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2020.599079>



# Electronic Banking (e-Banking) Fraud with Phishing Attack Methods

Ilker Kara<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Eldivan Tıbbi Hizmetler ve Sağlık Meslek Yüksek Okulu, Çankırı, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3700-4825), karaikab@gmail.com

(First received 30 September 2021 and in final form 3 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1002963)

**ATIF/REFERENCE:** Kara, İ. (2021). Electronic Banking (e-Banking) Fraud with Phishing Attack Methods. *European Journal of Science and Technology*, (31), 982-985.

## Abstract

Every segment of the society was affected with the developments in technology, though it has empowered financial activities to be carried out quickly in the internet environment. Banking service, is one of the sectors with the most exhaustive use of technology, which have turned their services into online applications in order to respond quickly to the demands of individuals, commercial companies and to get more shares from the market area in an environment of economic competition. Although this innovation offers many advantages but it has also created many damsel for mischievous people. The most popular and well known outbreaks is phishing. Phishing attacks were designed to obtain a target person's key information, such as their password or credit card. For phishing attacks, fake web pages such as e-mail services, official institution web pages, banks, social media sites are organized and victims are expected to fall into this trap. Due to the high success rate of phishing attacks and the simplicity of preparation, attackers often resort to this method to achieve their goals. Even though security measures continue to be taken to battle this crime, the size of the threat continues to increase day by day. In this study, a forensic analysis of a Phishing attack case sample prepared using electronic banking (e-banking) fake website is performed. Detailed information about the fake website prepared from the analysis results was obtained and information about the attacker was obtained. It is evaluated that the approach and results used in the study will contribute to both the fight against this crime and future studies.

**Keywords:** Phishing Attack, E-Banking, Computer Forensic

## Oltalama Saldırı Yöntemiyle Elektronik Bankacılık (e-Bankacılık) Dolandırıcılığı

### Öz

Teknolojide yaşanan gelişmeler toplumun her kesimini etkilemesiyle birlikte özellikle finansal faaliyetleri internet ortamında hızlı bir şekilde yapılmasına olanak sağlamıştır. Teknolojik kullanımının en yoğun olduğu sektörlerin başında gelen bankacılık hizmetleri bireylerin ve ticari firmaların taleplerine hızlı cevap verebilmek ve ekonomik rekabeti ortamında pazar alanından daha fazla pay alabilmek için sundukları hizmetleri çevrimiçi uygulamalar haline getirmişlerdir. Bu getirilen yenilik birçok avantajı sunmakla birlikte kötü niyetli kişiler içinde yeni fırsatlar yaratmıştır. Bu saldırıların en popüler olanı otlama (Phishing) olarak bilinen türüdür. Phishing, hedefteki kişinin şifresini veya kredi kartı gibi önemli bilgilerini ele geçirmek öğrenmek için tasarlanmış saldırılardır. Phishing saldırıları için e-posta servisleri, resmi kurum web sayfaları, bankalar, sosyal medya siteleri gibi sahte web sayfaları düzenlenmekte ve mağdur kişilerin bu tuzağa düşmesi beklenmektedir. Phishing saldırıları yüksek başarı oranı ve hazırlanışı basit olması nedeniyle saldırganlar amacına ulaşmak için sıklıkla bu yönteme başvurmaktadır. Bu suçla mücadele edebilmek için güvenlik tedbirleri alınmaya devam edilse de tehditin boyutu her geçen gün artmaya devam etmektedir. Bu çalışmada, elektronik bankacılık (e-bankacılık) sahte web sitesi kullanılarak hazırlanmış bir Phishing saldırı vaka örneğinin adli analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarından hazırlanan sahte web sitesi hakkında detaylı bilgiler elde edilmiş olup saldırganın ait bilgilere ulaşılmıştır. Çalışma kullanılan yaklaşım ve sonuçlarıyla, gerek bu suçla mücadeleye gerekse gelecekte yapılacak çalışmalara katkı sağlayacağı değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Oltalama Saldırısı, e-Bankacılık, Adli Bilişim

\* Corresponding Author: [karaikab@gmail.com](mailto:karaikab@gmail.com)



## 1. Introduction

Phishing attacks are one of the oldest and most successful types of cyber-attacks that have been used since the use of internet-based web applications [1]. As the name suggests, in this attack, the attacker prepares a "bait" and waits for "fish" to be attached to this dish. In general, phishing attacks reach their victims via fake web pages or an e-mail containing malicious software [2]. It is designed to capture important information such as the identity information of the target person, phone or credit card, by imitating a corporate web page or sending e-mails that arouse curiosity and interest to the user such as gifts and discounts [3]. Web pages or e-mails are specially designed by the attacker so that the victim who falls into this trap feels safe during his transactions [4]. When the malicious links in the e-mail attachment reaching the victim or the links in the fake websites are clicked, the victim can be hunted, and the victims' computers can be captured by the attackers by running the infected files from the e-mails or malicious links on the web pages [5].

In another method, the attackers imitate a cleverly designed corporate website [6]. While preparing these fake websites, it gives the impression that it is operating on the corporate website at first glance by using images such as themes, pictures, tables or logos on the target site. Moreover, it can add some applications of the website it imitates to the fake website, and if the victim clicks on these links, it can redirect to the page of the corporate site. This situation is a complete deception. After establishing the trust of the victim, it directs the victim to enter the necessary information in the form on the fake website in order to win the transaction he wants to do or the reward or discount he promised. When the attack is completed, the information entered in the forms on the fake website is transmitted to the attacker. With this information obtained after the attack, it can perform banking transactions, empty the victim's accounts or sell this information to malicious people.

Although new methods have been developed to combat phishing attacks in researches from past to present, the number of victims of phishing attacks is increasing rapidly [7]. This is triggered by the simple preparation of the phishing attack, the high success rate and the low probability of catching the attacker. Forensic analysis has an important place in the fight against phishing attacks. As a result of forensic analysis, the attack strategy of the attacker can be determined, the websites prepared for the attack can be analyzed in detail, the preparation and working mechanism of these sites can be defined and the information of the attacker can be accessed [8].

Considering all these, in this study, forensic analysis of the website prepared for phishing attacks has been examined. This study mainly offers three contributions:

1. Attack strategy of the attacker,
2. Study, forensic analysis of e-banking website prepared for phishing attacks,
3. The results obtained from the sample case analysis selected in the study were evaluated.

This study is organized as follows: in section 2, a few of the relevant studies from the literature are reviewed. Part 3 conducted e-banking Phishing attack case forensic analysis. In the next section, forensic analysis used in 4 studies is evaluated. Finally, chapter 5 completes the work and evaluations are made to combat possible future Phishing attack.

## 2. Related Work

Although there has been work in the field of e-banking Phishing attack detection and analysis in the literature, this chapter is briefly reviewed focusing on some of the important ones.

While the attacker designs completely identical visually to the sites, impersonating in the web-based Phishing attack, he makes small changes that will not be noticed at first sight. In this method, known as name shuffle, some characters are used interchangeably (instead of the letter h or a instead of the letter o). This information is used in e-banking Phishing attack detection. Especially studies using the artificial intelligence approach are promising.

Machine learning algorithms are widely used in Phishing attack detection. Zhang et al (2007) developed a model called CANTINA to detect keywords from URLs and HTML of websites [9]. In the results of the study, it was seen that it could detect 95% of websites designed for phishing attacks. Marchal et al (2014) proposed a model that takes advantage of URLs and HTML features. This model has also removed 212 features of URL and HTML [10]. This model has used machine learning algorithms to determine whether a Phishing website is by manually extracting the features of websites. As a result of the study, it was concluded that the proposed model was 94.91% successful. Huang et al. (2019) used the Convolutional Neural Network (CNN) module to determine the URL character indexes of suspicious websites [11]. In the study, a data set consisting of 4.8 million URL addresses was used and they achieved a success close to 99%. In a similar study, Xiao et al. (2020) detected Phishing attacks at a high accuracy rate of 99.84% using a multi-layer sensor (MLP) in their study using the Convolutional Neural Network (CNN) module [12]. It is important to work on the detection and prevention of website-based Phishing attacks. Forensic analysis to be made after the phishing attack has an important place in detecting the criminals. In addition, forensic case analysis of website-based Phishing attacks;

It can provide access to important information such as attack strategies, determination of the techniques used and tracking the attacker. For this reason, case studies are critical to combating Phishing attacks.

## 3. Materials and Methods

In this section, the case example prepared for website-based phishing attacks and the business computer and analysis tools used in the analysis are introduced.

### 3.1. Dataset

In case analysis studies, it is extremely important that the selected sample is current and fully covers the problem. In doing so, an appropriate case for information security cooperation with companies operating in Turkey for example has been supplying one of the most recent examples.

### 3.2. Preparation of Analysis Environment

All analyzes were performed on a Lenovo V530 Intel Core i7 7500 U working computer with 128 GB + 512GB SSD and Windows 10 Pro operating system. Analyzes were performed using "HTTrack Website Copier 3. 49.2 (Free version)", "Wireshark 3.4.3 (Free version)". Since the sample analyzed is a real cyber-attack and forensic case, some information is presented in the study in disguise.

### 3.3. Forensic Case Analysis

In the analyzed example, cyber fraudsters were designed to direct customers to the bank's official websites and the website they set up, and to enter the information in the form on the fake website (Figure 1).



Figure 1. Screenshot of the website prepared for phishing attacks.

Figure 1 shows the web site home screen page and its contents prepared for phishing attacks. While preparing the offensive Phishing website, it is seen that a corporate bank completely copied its content. (1) The website domain name prepared by the attacker can be seen. When preparing the domain name, when looking carefully at the domain address designed as "https://fibabnka.com/", it was used in "fibabnka.com" instead of "fibabanka". So it can be seen that the letter "a" is missing. With this method, the attacker aims to avoid the attention of careless users. (2) It shows the prompting message for the victim to enter the personal and banking information in the prepared form.

HTTrack Website Copier is a website copying tool that enables the entire target website to be downloaded to the computer and enables the downloaded website to be viewed offline [13]. In order to examine the content of the suspect "https://fibabnka.com/" web site, HTTrack Website Copier 3.49-2 was downloaded to the business computer and the content of the suspect site was reached (Figure 2).

Ad	Değiştirme tarihi	Tür	Boyut
hts-cache	6.02.2021 18:19	Dosya klasörü	
backblue.gif	31.01.2021 17:17	GIF Dosyası	5 KB
fade.gif	31.01.2021 17:17	GIF Dosyası	1 KB
hts-log.txt	31.01.2021 17:11	Metin Belgesi	2 KB
index.html	31.01.2021 17:17	Firefox HTML Docum...	5 KB

Figure 2. "https://fibabnka.com/" website content screenshot.

Figure 2 shows the content of the website "https://fibabnka.com/". (1) The hts-cache (historical traffic search-cache) folder contains the HTML pages, images and documents of the suspect https://fibabnka.com/ web page. (2) The "hts-log" file shows the records where the information the victims entered into the form is kept. (3) The "index" icon is downloaded and provides offline access to the content of the suspect https://fibabnka.com/ website.

The source code content was analyzed in order to examine the content and source code architecture of the website "https://fibabnka.com/" and to find more information about the website (Figure 3).

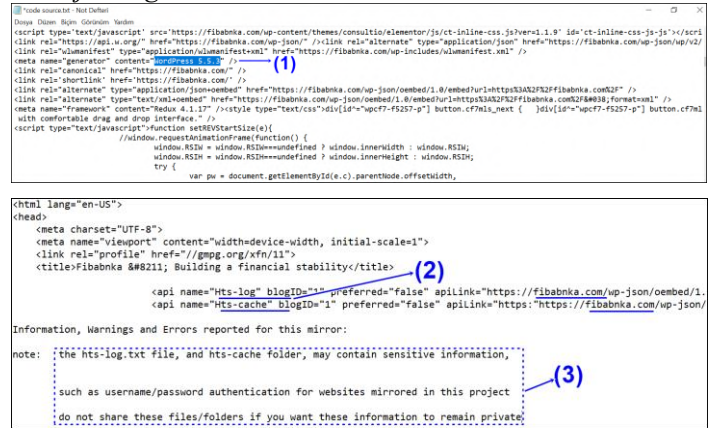


Figure 3. Screenshot of part of the source code architecture of the "https://fibabnka.com/" website.

When the suspicious "https://fibabnka.com/" website's content and source code architecture were examined, it was seen that the website was prepared using "Word Press ". (2) The home page address of your website shows the access link. (3) The folder where the website's records are kept. The log records of web sites are important in forensic analysis as they contain very valuable information. (3) In order to keep the information kept in the "hts-log" folder confidential (such as username / password authentication), this file should not be shared with other people. It is seen that it was made.

After the forensic investigation of the suspicious website content is completed, the focus is on accessing the information of the attacker. IP (Internet Protocol) is the address used by devices that are in data exchange with each other with the Internet network or any other computer network. Internet-based devices can thus detect each other's access addresses. Detecting the IP number of the suspicious website is one of the methods used to reach the attacker in forensic investigations. If the suspicious IP number can be detected, the internet subscriber to whom the IP number has been allocated can be determined. If this information is available, it can also allow the attacker to be traced.

Wireshark program is an open source internet and network packet analyzer. Thanks to the Wireshark program, it is used for the detection of the IP number of the suspicious website and for forensic investigations. The network traffic of the website "https://fibabnka.com/" was analyzed using the Wireshark program. Since the Wireshark program will display all internet and network packet traffic on the computer on which it is running, only the suspicious "https://fibabnka.com/" website is entered and the internet and network packet traffic about this site is filtered (Figure 4).

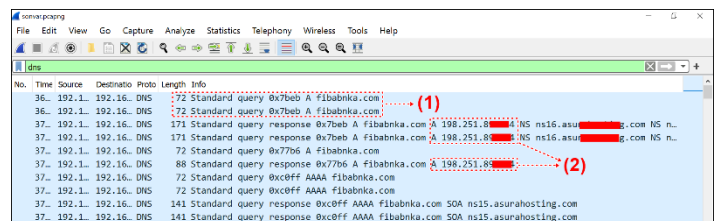


Figure 4. Screen shot of "https://fibabnka.com/" site IP number detection with Wireshark program.

Figure 4 shows the IP number detection of the "https://fibabnka.com/" site with the Wireshark program. (1) Shows the suspect domain name searched. (2) The suspect site "https://fibabnka.com/" The IP number is visible. After the suspect IP number was detected, the information regarding the IP

number was searched at "https://whois.domaintools.com" (Figure 5).

The screenshot shows the 'Whois Lookup' page for IP 198.251.8.4. The page is titled 'IP Information for 198.251.8.4' and includes a 'Quick Stats' section with the following information:

- IP Location: United States Of America (Cheyenne FranTech Solutions)
- ASN: 53667 PONYNET, US (registered Nov 20, 2010)
- Resolve Host: s11.asur[redacted].com
- Whois Server: whois.arin.net
- IP Address: 198.251.8.4
- Reverse IP: 2,236 websites use this address.

The detailed WHOIS data is as follows:

```

NetRange: 198.251.8.0 - 198.251.8.255
CIDR: 198.251.8.0/20
NetName: PONYNET-07
NetHandle: NET-198-251-80-0-1
Parent: NET198 (NET-198-0-0-0-0)
NetType: Direct Allocation
OriginAS: AS53667
Organization: FranTech Solutions (SYNDI-5)
RegDate: 2010-11-20
Updated: 2010-11-20
Ref: https://rdap.arin.net/registry/ip/198.251.8.0

OrgName: FranTech Solutions
OrgId: SYNDI-5
Address: 1111 [redacted] Ave
City: Cheyenne
StateProv: WY
  
```

Figure 5. Screen shot of "https://whois.domaintools.com" query of detected suspect IP number.

As a result of the query of the detected suspicious IP number, it could be seen that the information of the attacker could be accessed.

## 4. Discussion and Conclusion

In this study, a forensic case analysis of the e-banking website prepared for phishing attacks was made. The attack strategy and the methods used by the attacker were examined on a real attack example. Analysis results offer three important advantages such as (1) the working logic of the e-banking website prepared for phishing attacks, (2) the strategy of the attack, and (3) the ability to trace the information of the attacker. However, the Phishing attack case analysis includes some difficulties. Since the phishing attack can use different designs according to the fiction chosen, the detection and analysis approach may differ depending on the case, although it is similar to the other attack examples. For this reason, forensic case studies make a great contribution to the work done in this field and the fight against phishing attacks. Although there are many studies in the literature to detect fake websites designed for phishing attacks, it is seen that new strategies have been developed to circumvent these methods recommended by attackers. For example, for approaches based on the detection of suspicious URL information, attackers hide this information from fake websites they create [13]. This situation causes great difficulties in combating phishing attacks.

For these reasons, we believe that the forensic analysis proposed in the study needs to be repeated with more up-to-date examples to reinforce and support it. Finally, we believe the study will raise awareness in combating e-banking websites designed for phishing attacks. As a future study, we plan to investigate with different sample data sets in the detection and analysis of the e-banking website prepared for phishing attacks.

## References

- [1] Ghazi-Tehrani, A. K., & Pontell, H. N. (2021). Phishing Evolves: Analyzing the Enduring Cybercrime. *Victims & Offenders*, 16(3), 316-342.
- [2] Kara, I. (2021). Don't Bite The Bait: Phishing Attack for Internet Banking (e-banking). 16(5), 1-12.
- [3] Hajiali, M., Amirmazlaghani, M., & Kordestani, H. (2019). Preventing phishing attacks using text and image watermarking. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 31(13), e5083.
- [4] Kara, İ. (2020). Security Risks and Safeguard Measures in Social Media Usage. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10-15.
- [5] Kara, I. (2019). A basic malware analysis method. *Computer Fraud & Security*, 2019(6), 11-19.
- [6] Subasi, A., & Kremic, E. (2020). Comparison of adaboost with multiboosting for phishing website detection. *Procedia Computer Science*, 168, 272-278.
- [7] Jain, A. K., & Gupta, B. B. (2018). Two-level authentication approach to protect from phishing attacks in real time. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 9(6), 1783-1796.
- [8] Kara, I. (2021). Cyber-Espionage Malware Attacks Detection and Analysis: A Case Study. *Journal of Computer Information Systems*, 1-18.
- [9] Zhang, Y., Hong, J. I., & Cranor, L. F. (2007, May). Cantina: a content-based approach to detecting phishing web sites. In *Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web* (pp. 639-648).
- [10] Marchal, S., François, J., State, R., & Engel, T. (2014). PhishStorm: Detecting phishing with streaming analytics. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 11(4), 458-471.
- [11] Huang, Y., Yang, Q., Qin, J., & Wen, W. (2019, August). Phishing URL detection via CNN and attention-based hierarchical RNN. In *2019 18th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/13th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering (TrustCom/BigDataSE)* (pp. 112-119). IEEE.
- [12] Xiao, X., Zhang, D., Hu, G., Jiang, Y., & Xia, S. (2020). CNN-MHSA: A Convolutional Neural Network and multi-head self-attention combined approach for detecting phishing websites. *Neural Networks*, 125, 303-312.
- [13] Chowdhury, T., & Vidalis, S. (2012, September). Collecting evidence from large-scale heterogeneous virtual computing infrastructures using Website Capture. In *2012 Third International Conference on Emerging Intelligent Data and Web Technologies* (pp. 211-217). IEEE.





# Remote Monitoring of Wind Speed and Produced Voltage Measured by Anemometer

Çağatay Ersin<sup>1\*</sup>, Ali Öz<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Department of Electronics and Automation, Çankiri Karatekin University, Çankırı, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5018-9313), [cagatayersin@karatekin.edu.tr](mailto:cagatayersin@karatekin.edu.tr)

<sup>2</sup> Department Of Motor Vehicles And Transportation Technologies, Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0814-4020), [alioz@xmehmetakif.edu.tr](mailto:alioz@xmehmetakif.edu.tr)

(First received 5 November 2021 and in final form 31 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1019527)

**ATIF/REFERENCE:** Ersin, Ç. & Öz, A., (2021). Remote Monitoring of Wind Speed and Produced Voltage Measured by Anemometer. *European Journal of Science and Technology*, (31), 986-990.

## Abstract

Anemometer is a device used to measure wind speed at weather measurement stations. An Anemometer, which is used to measure the wind speed of an area, is widely used in weather stations. With the anemometer, wind speed and weather forecasts of a certain region are made. In this study, the wind speed values of a sample anemometer in a certain region and the voltage produced by the anemometer for wind energy were remotely monitored via the Internet of Things. In the system created, Arduino Uno microcontroller development board for the control of the system, a sample anemometer for measuring wind speed and generating voltage, LCD shield for displaying wind speed and voltage values on the screen, esp8266 wifi module for sending instant data from the anemometer to the thingspeak IoT platform and for feeding the system. Solar panels and battery charge regulators are used. In this study, the wind speed in a certain region and the monitoring of voltage produced depending on the wind speed was monitored on an internet basis. The system was operated in a certain region and the wind speed values and the generated voltage were monitored both instantaneously on the LCD screen and graphically on the thingspeak an IoT platform as instantaneous, hourly, daily and weekly. With this system created, the thingview application was used for instant tracking on android devices.

**Keywords:** Anemometer, IoT, Esp8266, Solar Energy, Wind Energy

## Anemometre ile Ölçülen Rüzgâr Hızının ve Üretilen Gerilimin Uzaktan Takibinin Yapılması

### Öz

Anemometre, hava durumu ölçüm istasyonlarında rüzgâr hızını ölçmek için kullanılan bir cihazdır. Bir bölgenin rüzgâr hızını ölçmek için kullanılan anemometre hava durumu istasyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Anemometre ile belirli bir bölgenin rüzgâr hızı, hava durumu tahmini yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmada örnek bir anemometrenin belirli bir bölgedeki rüzgâr hızı değerlerinin ve rüzgâr enerjisi için anemometrenin ürettiği gerilimin nesnelerin interneti ile uzaktan takibi yapılmıştır. Oluşturulan sistem de sistemin kontrolü için arduino uno mikrodentetleyici geliştirme kartı, rüzgâr hızının ölçümü ve gerilim üretilmesi için örnek bir anemometre, rüzgâr hızı ve gerilim değerlerinin ekranda gösterilmesi için LCD shield, anemometreden alınan anlık verilerin thingspeak IoT platformuna gönderilmesi için esp8266 wifi modül ve sistemin beslemesi için güneş paneli ve akü sarj regülatörü kullanılmıştır. Bu çalışma ile belirli bir bölgede rüzgâr hızı ve rüzgâr hızına bağlı üretilen gerilimin takibi internet tabanlı olarak izlenmiştir. Sistem belirli bir bölgede çalıştırılmış ve rüzgâr hız değerleri ve üretilen gerilim hem LCD ekranda anlık olarak hemde thingspeka IoT paltfomunda anlık, saatlik, günlük ve haftalık olacak şekilde grafik halinde izlenmiştir. Oluşturulan bu sistem ile aynı zamanda android cihazlarda anlık takibi yapılması için thingview uygulaması kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Anemometre, IoT, Esp8266, Güneş Enerjisi, Rüzgâr Enerjisi.

\* Corresponding Author: [cagatayersin@karatekin.edu.tr](mailto:cagatayersin@karatekin.edu.tr)



## 1. Introduction

Energy is the source of economic development and social development. Rapid developments in industry and technology increase the energy needs of countries day by day. This situation has led countries to research new energy sources [1]. Wind energy is one of the clean and renewable energy sources. The main source of wind energy is the sun. Approximately 1-2% of the energy coming from the sun to the earth turns into wind energy. The temperature and pressure differences that occur because solar energy does not heat the land, sea and atmosphere equally everywhere create the wind. Wind energy is the kinetic energy of the air current that creates the wind [1]. To produce electricity by establishing a wind power plant in a region, the wind energy potential of the region must be determined. For this, wind speed and direction values should be measured continuously at regular intervals [1]. The most important device in wind measurements is the anemometer, which measures wind speed. [2nd]. Anemometer is the name given to the instruments used to measure the flow rates of air or other gases. The propeller anemometer generally has three blades mounted on a wheel hub. Propeller blades move in a vertical plane [3]. Developments in the Internet and wireless sensor networks enable data to be collected on-site, allowing for healthier planning and forecasting. Meteorological data tracking stations or automatic weather stations are systems used to measure and record known parameters of the atmosphere without human intervention. Meteorological data tracking stations or automatic weather stations are used for monitoring weather conditions, weather forecasting, long-term monitoring of climate change, ensuring healthy growth in plants, providing a healthy working environment in industry, collecting meteorological data for energy systems, predicting natural events such as floods, landslides or avalanches. is used [4].

The detection provided by Wireless Sensor Network (WSN) technologies, which is the main area of use of IoT (Internet of Things), is encountered in many areas of today's life. This offers the ability to measure, infer and understand environmental indicators from sensitive natural resources to urban environments. The proliferation of these devices in a communicative network creates the Internet of Things (IoT) [5]. In this study, an IoT application was carried out with a sample anemometer measuring wind speed. With the implemented system, the wind speed obtained from the anemometer and the voltage produced by the anemometer was monitored remotely via the thingspeak IoT platform.

## 2. Material and Method

### 2.1. Internet of Things

The Internet of Things (IoT) has been called the next Industrial Revolution or the next evolution of the Internet. IoT can be defined as an advanced and effective solution for connecting objects to the internet and collecting data from objects and sharing them over a network [4]. The Internet of Things can be defined as a communication network in which physical objects are connected or with larger systems. It can also be called connecting the data of objects or devices that they exchange with each other by constantly communicating with each other to a smart network. Changing the heating-cooling and ventilation conditions in the environment where the individual is or keeping the heating-cooling device at a certain setting in a certain period can be recorded as data and used later [6]. The concept of the Internet of

Things (IoT) was first mentioned in a presentation by Kevin Ashton in 1999 [1]. Objects are based on the idea of collecting the data of their environment on a common platform, analyzing them on this platform, making decisions and managing [1]. Thanks to the developing embedded systems, smaller sizes, less energy consumption, and easy programmability with wireless communication technologies, sensor nodes that receive the data in the environment can be designed [7]. In the internet of things, real-time and accurate data collection from sensors is one of the important functions. Generally, in sensor-based systems, various features of the environment, structure, or entity are sensed by sensors and sent to a base station and from there to a data processing centre over WiFi, a wired communication infrastructure, or multi-hop links. After the data reaches the processing centre, smart decisions can be made based on the perceived information or the quality of the services provided can be improved [8].

#### 2.1.1. Thingspeak IoT Web Service

Thingspeak is a web-based open API IoT resource information platform that is comprehensive in storing sensor data of various 'IoT applications' and outputs detected data in graphical form at the web level [8]. Thingspeak receives records/stores, analyzes, observes and works on the detected data from the connected sensor to the main microcontroller, with the help of the internet connection acting as a 'data packet' carrier between the connected 'objects' and the Thingspeak cloud. 'Arduino, TI CC3200 module, Raspberry-pi etc. As. Thingspeak is a fascinating sensor-based logging app, location/location tracking app and helps to keep the 'social network' of things/objects updated and alternatively, we can have a check. Via 'Home automation' products connecting from asset location to public area network (via the Internet) and the most basic feature of Thingspeak functionality is the term 'Channel' which is data area, location area, state area. for various detected data. Once channels are created in 'Thingspeak', the data can be applied and alternatively, you can process and visualize the information using MATLAB and respond to the data with tweets and other forms of alerts. Thingspeak also provides a public channel to analyze and predict this through the public [9].

#### 2.1.2. Anemometer

As measuring devices, an anemometer is used for wind speed measurements and direction sensors are used for wind direction measurements. It will be extremely useful to measure some other meteorological parameters as well as wind speed and wind direction. It is important to measure pressure, ambient temperature and humidity values to calculate the air density used in wind energy calculations. In addition, measuring the solar radiation value will also be beneficial in the design of solar power plants to be made. The wind speed measurement height must be at least 30 m for wind energy measurements or the turbine hub height to be installed, and the measurements must be made periodically and continuously. In addition, the measurement height may change according to the topographic conditions of the land to be measured [2,6]. Anemometers are devices used to measure wind speed. Anemometers are sensors that convert wind speed into electrical signals. There are 3 types of anemometers: cup, ultrasonic and propeller anemometer. Cup anemometers are mostly used for wind speed measurements. These anemometers have a vertical axis and have 3 wind-catching cups.

The number of revolutions per minute of the cups is recorded electronically and makes the wind measurement. In addition, special models with electrically heated shaft and cup anemometers can be used for measurement in cold climate conditions. Ultrasonic anemometers work with the principle of measuring the time elapsed while the sound wave emitted from each end is received by the other arm. In short, it makes measurements by distinguishing the phase shifts in the sound. The working principle of propeller anemometers is the same as cup anemometers. While cup anemometers are placed perpendicular to the wind direction, propeller anemometers are placed parallel to the blowing wind direction. In addition, this type of anemometer measures horizontal wind speed when mounted parallel to the wind direction and vertical wind speed when mounted vertically. The propeller anemometer is a built-in sensor. It can make both speed and direction measurements [1].

### 2.2. Designing the Remote Tracking System

In this study, the wind measurement speed and the voltage produced by the anemometer were followed on the Thingspeak IoT platform with a sample anemometer. Knowing the wind speed gives us information about the weather on an instant, daily or weekly basis. In addition, wind energy power, which is one of the renewable energy sources, in a certain region and the voltage produced by the anemometer could be monitored remotely thanks to this study. In the study, an Arduino Uno microcontroller development board was used to control the wind speed measured by a sample anemometer. The voltage produced by the anemometer depending on the wind speed was also controlled by the microcontroller. The block diagram of the created system is shown in Figure 1.



Figure 1. Block diagram of the system

In this study, the system was operated in a certain region and data related to two different parameters, namely wind speed and

generated voltage, was obtained. The image of the created system is shown in Figure 2.

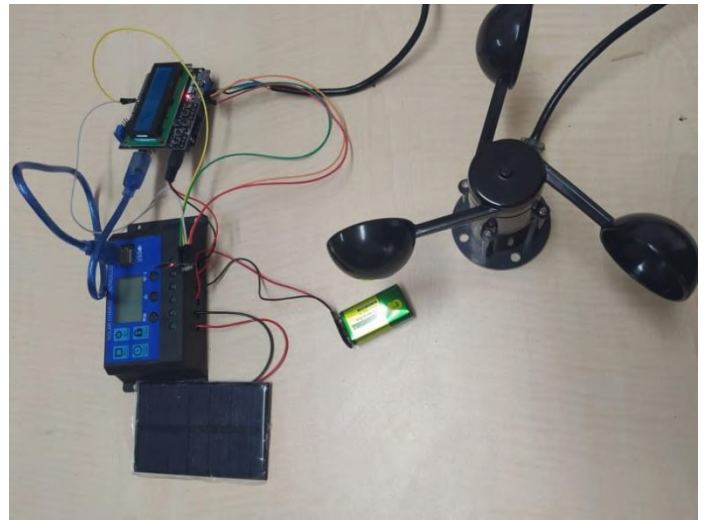


Figure 2. View of the system

An LCD screen was used to show the instantaneous wind speed values of the created system and the voltage produced by the wind turbine. Wind speed and generated voltage are displayed on the screen instantly. The voltage and instantaneous wind speed values produced by the anemometer are shown in Figure 3.



Figure 3. Display of wind speed and generated voltage on the LCD screen

In this study, the system was connected to the internet with the Esp8266 wifi module to monitor the wind speed and the voltage produced depending on the wind speed in the internet environment. The wind speed parameter measured by the microcontroller development board anemometer and the voltage produced were sent to the internet via Esp8266 wifi module. Esp8266 wifi module sent these two parameters to the thingspeak IoT web service application, which is frequently used in IoT studies, with wireless internet technology. These data were taken instantly from the thingspeak web address, which is the IoT (Internet of Things) platform, and transferred to two channels (measured wind speed and generated voltage) opened in the thingspeak account. The instantaneous incoming data to these two channels have been converted into a graphic, and according to the time of the incoming data, instant, hourly, weekly, daily or even monthly follow-ups can be made. In addition, the location of the

region where the system is used is shown with a channel opened on the thingspeak IoT platform. The screenshot of wind speed and generated voltage channels in the Thingspeak IoT platform is shown in Figure 4.

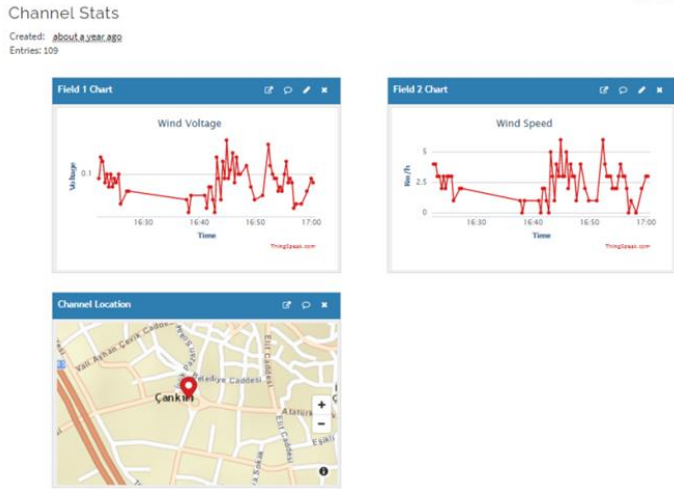


Figure 4. The generated tension channel and wind speed channel image

The system has been installed and tested in a specific region. The system is connected to the internet through internet providers in that region. With the location determination, which is a feature of the Thingspeak IoT platform, the region where that wind measurement was made was found and shown in a channel. The data received by the system and the screenshot of the channels opened on the Thingspeak IoT platform are shown in Figure 5.

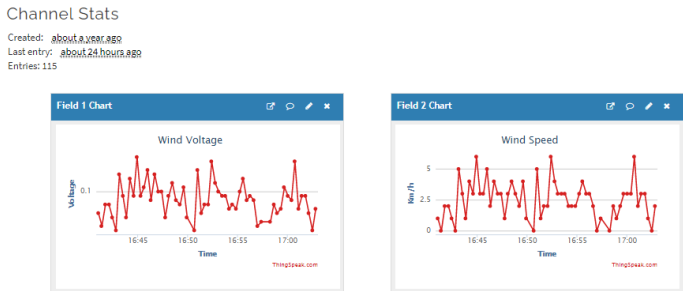


Figure 5. Data from Anemometer and Thingspeak channel

In this study, instantaneous wind speed values measured by a sample anemometer and voltages produced depending on wind speed were instantly followed on the Thingspeak internet address. Thanks to this system created, the user will have remote information about the voltage produced by the anemometer and the wind turbine without going to the region, and about the wind speed of that region. The user will also be able to make long-term comments about the voltage and wind speed produced using the thingspeak web address. It has also been integrated into the thingview software, which is the android application of the thingspeak IoT platform, to make the use of the system more widespread and simpler to use. The user will be able to access the wind speed and the generated voltage values in the region where the anemometer is located, with any android device. The screenshot of Thingview android software is shown in figure 6.



Figure 6. Screenshot of Thingview android software

### 3. Results and Discussion

Wind speed in a region is highly correlated with the pressure gradient in that region. The formation of pressure differences in the region increases the wind speed. In this study, a sample anemometer was provided to measure wind speed. The anemometer measured the wind speed and accordingly acted as a wind turbine and produced a voltage. A microcontroller development board is used in the system to control these two parameters. The system was operated in a specific region. The wind speed and generated voltage values in the operating area were instantly sent to the thingspeak internet address via the IP address with the wifi module in the system. Data related to these two parameters

The location of the system established by adding the location of the region where it is located and converted into graphics on the Thingspeak IoT platform is shown in Thingspeak. Since the system will also work as wind energy, the system is powered by a solar panel battery and battery charge controller. The system takes its energy from the sun. Thus, this system will be able to work in all regions with solar energy. In this study, the system was tested in a certain region and 109 pieces of data were taken depending on 2 parameters: wind speed and generated voltage. These data received by the system give us information about the weather conditions of that region and the rate of benefiting from wind energy. An exemplary anemometer in the system was operated like a wind turbine, and it was observed that it produces an average voltage of 0.12 volts in places where the wind speed is 4 m/s. The system was designed as a prototype and set an example for large turbines and anemometers. In this study, by using a real



wind turbine instead of the anemometer in this study, the wind speed and the generated voltage will be monitored remotely from the internet or an android device.

## **References**

- [1]Faruk, O. R. A. L., & Behçet, R. Rüzgar Verilerinin Enerji Üretimi Amaçlı Değerlendirilmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4(2).
- [2]Oğuzer, C. (2001). Rüzgâr Ölçüm Sistemlerinin Esasları.
- [3]Bakir, E. (2017). Enerji Depolamalı Yeni Nesil Fotovoltaik/Termal Kolektörlerin Isıl Performanslarının İncelenmesi/Investigation Of Thermal Performance Of New Generation Photovoltaic/Thermal Collectors With Energy Storage.
- [4]Kelebekler, E. (2019). Nesnelerin İnterneti Tabanlı Meteorolojik Veri Takip Sistemi. Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 7(1), 650-663.
- [5]Ersin, Ç., Mustafa, Y. A. Z., & Karhan, M. Savunma Sanayi İçin Örnek Bir IoT Uygulaması. Electronic Letters on Science and Engineering, 15(3), 66-73.
- [6]Korukçu, M. Ö., & Kiliç, M. Isıl Konfor İçin Nesnelerin İnterneti Kullanımı.
- [7]Sazak, T., & Albayrak, Y. (2017). Nesnelerin İnterneti (Iot) Üzerine Ortam Verilerini Toplayan Ve Uzaktan Takibini Sağlayan Bir Sistem Tasarımı, 19. Akademik Bilişim Konferansı-Ab, 8-10.
- [8]Pasha, S. (2016). ThingSpeak based sensing and monitoring system for IoT with Matlab Analysis. International Journal of New Technology and Research (IJNTR), 2(6), 19-23.
- [9]Akram, V., & Dağdeviren, O. (2020). Nesnelerin İnterneti İçin Gerçek Zamanlı Tasarsız Veri Toplama Platformu. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 13(4), 451-462.





# Comparison of Different Classification Algorithms for Extraction Information from Invoice Images Using an N-Gram Approach

Resmiye Nasiboglu<sup>1\*</sup>, Adem Akdogan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Dokuz Eylul University, Faculty of Science, Department of Computer Science, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1739-1469), resmiye.nasiboglu@deu.edu.tr

<sup>2</sup> Dokuz Eylul University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4236-1563), adem.akdogan92@gmail.com

(First received 24 December 2020 and in final form 6 October 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.844862)

**ATIF/REFERENCE:** Nasiboglu, R., & Akdogan, A. (2021). Comparison of Different Classification Algorithms for Extraction Information from Invoice Images Using an N-Gram Approach. *European Journal of Science and Technology*, (31), 991-1003.

## Abstract

Artificial intelligence (AI) has started to be used in many areas today. One of these areas is the accounting sector. Accounting companies may sometimes be inadequate especially in the face of intense invoicing transactions of large companies. This problem raised the need to process invoices by an Artificial Intelligence powered system. The goal of this work is to determine the best machine learning model to extract information such as invoice number, invoice date, due date, delivery date, total gross, total net, vat amount and IBAN from the invoice image files. Information obtained by the Tesseract Optical Character Recognition (OCR) system has been converted into n-gram format. A number of attributes of the n-gram are calculated such as the coordinates, the length, the width, the line number, the template information of n-grams, the Levenshtein and the Jaro-Winkler distances between the candidate n-grams and the keywords in the control keywords list. The use of the Levenshtein distance between candidate n-grams and the control keywords has resulted in a sufficiently high predictive rate. The most appropriate model and features are determined for the training. Algorithms such as Random Forest, Gradient Boosting Machine, Extreme Gradient Boosting, K-Nearest Neighbors, AdaBoost and Decision Tree were compared as prediction models. A total of 9910 invoices were used by splitting 80% for training and 20% for testing. It was observed that the Random Forest model using the Levenshtein distance is the best model with an average F1 score of 0.9137.

**Keywords:** Machine learning, Information extraction, N-gram, Levenshtein distance, Jaro-Winkler distance.

## N-Gram Yaklaşımı Kullanılarak Fatura Görüntülerinden Bilgi Çıkarımında Farklı Sınıflandırma Algoritmalarının Karşılaştırılması

### Öz

Yapay Zeka (AI) günümüzde birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanlardan biri de muhasebe sektörüdür. Özellikle büyük firmaların yoğun faturalama işlemleri karşısında muhasebe firmaları bazen yetersiz kalabilmektedir. Bu sorun, faturaların Yapay Zeka destekli bir sistemle işlenmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmanın amacı, fatura görüntü dosyalarından fatura numarası, fatura tarihi, vade bitiş tarihi, teslim tarihi, toplam brüt, toplam net, kdv tutarı ve IBAN gibi bilgileri çıkarmak için en iyi makine öğrenme modelini belirlemektir. Çalışmada, Tesseract Optik Karakter Tanıma sistemi ile elde edilen bilgiler n-gram formatına dönüştürülmüştür. N-gramların koordinatları, uzunluk, genişlik, satır numarası gibi şablon bilgileri, aday n-gramlar ile kontrol anahtar kelimeler listesindeki anahtar kelimeler arasındaki Levenshtein ve Jaro-Winkler mesafeleri gibi bir dizi öznitelikleri hesaplanmıştır. Aday n-gramlar ile kontrol anahtar kelimeler arasındaki Levenshtein mesafesinin kullanılması, yeterince yüksek bir tahmin oranıyla sonuçlanmıştır. Eğitim için en uygun model ve özellikler belirlenmiştir. Tahmin modelleri olarak Rassal Orman (Random Forest), Gradyan Yükseltme Makinesi (Gradient Boosting Machine), Aşırı Gradyan Yükseltme (Extreme Gradient Boosting), K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbors), AdaBoost ve Karar Ağacı (Decision Tree) gibi algoritmalar karşılaştırılmıştır. Çeşitli firmalardan toplanan 9910 adet fatura, %80'i eğitim ve %20'si test olacak şekilde bölünerek kullanılmıştır. Levenshtein mesafesini kullanan Rassal Orman modelinin ortalama 0,9137 olan F1 puanı ile en iyi model olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Makine öğrenimi, Bilgi çıkarımı, N-gram, Levenshtein uzaklığı, Jaro-Winkler uzaklığı.

\* Corresponding Author: The Department of Computer Science, Dokuz Eylul University, Izmir, Turkey, ORCID: 0000-0003-1739-1469, resmiye.nasiboglu@deu.edu.tr

# 1. Introduction

Digitization of invoices, receipts and similar company documents has become very common with the rapid development in technology. It is a very labor intensive and expensive process to obtain and manage the information in these documents using traditional methods that depend on manpower (Klein et al., 2004). In addition, manual processing of these documents poses a serious timing problem. In particular, invoices are documents that need to be processed and managed continuously. As many companies use different types of invoices, we can see that the invoices have a very variable structure. Although we have strong estimation methods and techniques for specific templates, these methods do not work for uncertain documents. Therefore, these methods can only be applied to a small number of limited problems.

The main goal of our study is to compare machine learning models to extract information from invoices without a specific template. First of all, text information is extracted from the invoice images. For this, Tesseract is used that is an optical character recognition (OCR) engine. After obtaining the text information, the stage of creating useful features is performed. The location of words is very important in structural documents such as invoices and receipts. Especially, other words that are around the target word can give us remarkable information about our target. These words are vectorized by using distance values from potential words that can be keywords determined according to frequency.

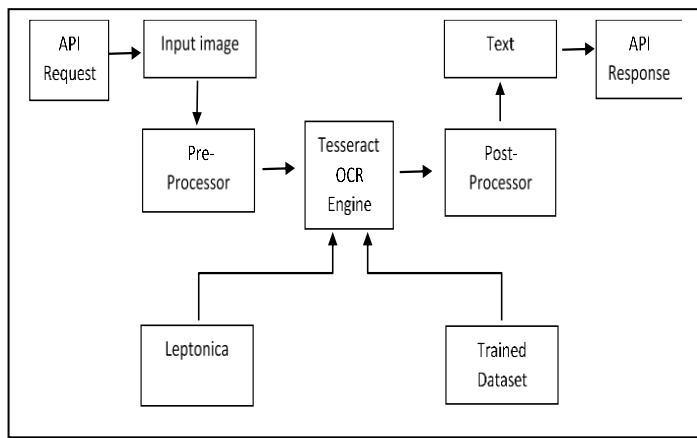


Figure 1. Tesseract OCR Process Scheme (Zelic and Sable 2020)

Two distances such as the Levenshtein distance and the Jaro-Winkler distance are used for measuring of word similarities. Various machine learning models such as Random Forest, Gradient Boosting Machine, Extreme Gradient Boosting, K-Nearest Neighbors, AdaBoost and Decision Tree were compared as prediction models. There are eight fields that we want to predict on the invoice such as invoice number, invoice date, delivery date, due date, total gross, total net, vat amount and IBAN. Instead of using a general trained model for predicting of all fields, different models are used for each field. Thus, the attributes that best represent that field are used in the training of each field. A dataset containing total 9910 invoice images collected by authors from different firms is used in training and testing process by dividing 80% and 20% as appropriate. Since the invoices contain sensitive financial information, the dataset cannot be presented as an open source. The Random Forest model with Levenshtein distance is obtained as the best prediction model for all fields.

The rest of the article is organized as follows. Information about the tools, methods and models used in this work are given in chapter 2. Related work and the proposed approach are given in chapter 3. Chapter 4 provides information about the data set. Explanation and discussion of obtained results are also included in this chapter. Finally, the concluding remarks are given in chapter 5.

## 2. Methodology

### 2.1. Tesseract OCR

The first tool we used in the document processing is an Optical Character Recognition (OCR) engine called Tesseract, which is supported by the Google, in order to convert documents in image format to text format (Smith, 2007). The scheme of the Tesseract OCR is given in Fig. 1.

While the documents are converted to text via Tesseract, information of the words such as coordinate information, line number, height and width can also be obtained (Table 1).

Line-based n-gram structure is created from the list of words generated by Tesseract OCR. While creating the n-gram structure, besides some features used in the study (Palm et al., 2017), other effective features can be calculated (Table 2). The most suitable features are obtained by processing the attributes of n-grams in different combinations for training.

Table 1. Attributes Obtained with Tesseract OCR.

Attribute name	Description	Attribute name	Description
<i>level</i>	Level of the detected unit	<i>left</i>	X coordinate of the upper-left corner of the detected unit
<i>page_num</i>	Page number of the detected unit	<i>top</i>	Y coordinate of the upper left corner of the detected unit
<i>block_num</i>	The block number of the detected unit	<i>width</i>	Width of the detected unit
<i>par_num</i>	Paragraph number of the detected unit in the block	<i>height</i>	Height of the detected unit
<i>line_num</i>	Line number of the detected unit in the paragraph	<i>conf</i>	Recognition accuracy percentage of detected unit
<i>word_num</i>	The word number of the detected unit on the line	<i>text</i>	Text of the detected unit

Table 2. Attributes Created for the N-gram Structure.

The attribute of n-gram	Description	The attribute of n-gram	Description
<i>RawText</i>	Text of n-gram	<i>Left</i>	Left margin of n-gram (X coordinate)
<i>TextPattern</i>	Template of n-gram	<i>Top</i>	Top margin of n-gram (Y coordinate)
<i>IsFirstStr</i>	Is the first character of n-gram an alphabetical one?	<i>LeftMargin</i>	Proportional left margin to the page width of n-gram
<i>IsFirstInt</i>	Is the first character of n-gram a digit?	<i>TopMargin</i>	Proportional right distance to the page width of n-gram
<i>IsFirstSpc</i>	Is the first character of n-gram a special character?	<i>HasDigit</i>	Whether there is a digit in the n-gram
<i>IsLastStr</i>	Is the last character of n-gram an alphabetical one?	<i>FirstQuarter</i>	The n-gram is in the first quarter of the page
<i>IsLastInt</i>	Is the last character of n-gram a digit?	<i>SecondQuarter</i>	The n-gram is in the second quarter of the page
<i>IsLastSpc</i>	Is the last character of n-gram a special character?	<i>ThirdQuarter</i>	The n-gram is in the third quarter of the page
<i>StrCount</i>	Total number of alphabetical characters in n-gram	<i>FourthQuarter</i>	The n-gram is in the fourth quarter of the page
<i>IntCount</i>	Total number of digits in n-gram	<i>LineNo</i>	Number of the line of the n-gram
<i>SpcCount</i>	Total number of special characters in n-gram	<i>PageNo</i>	Number of the page of the n-gram
<i>WordCount</i>	Total number of words of n-gram	<i>PageWidth</i>	Width of the page containing n-gram
<i>CharCount</i>	Total number of characters of n-gram	<i>PageHeight</i>	Height of the page containing n-gram

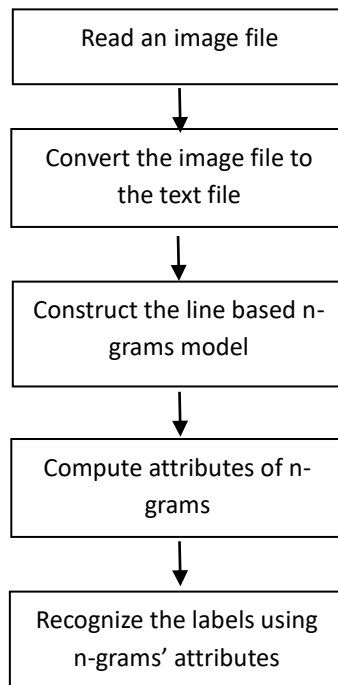


Figure 2. The Process of Recognizing Certain Fields from the Image File.

The process of recognizing certain labels on invoices is shown in Fig. 2. First of all, string expressions that are the result of the Tesseract OCR are converted into n-grams. Although some information such as invoice number and postal code on the invoice consists of one piece of string expression ("12345", "A1245"), other information such as address and IBAN number can have multiple string expressions ("TR 2600 1200 0000 0000 0000", "110 St No: X Ankara"). When the field we are predicting has more than one string expression, the single string expressions that Tesseract OCR outputs are insufficient. In this case, we reach the word sequence that we are looking for by using multiple n-grams (Watanabe et al., 2009).

## 2.2. The n-gram structure

Let's examine the word sequence "Dokuz Eylul University". An example of the creation of n-grams is given in Table 3

Table 3. Example N-gram Structure

1-grams	"Dokuz","Eylul"," University"
2-grams	"Dokuz Eylul","Eylul University"
3-grams	"Dokuz Eylul University"

As can be seen in the example in Table 3, 1-gram and 2-gram sequences must be created in order to reach the 3-gram sequence. The following formula can be used to calculate the total number of n-grams that can be generated with maximum length  $w$  from a sequence of  $k$  numbers of words:

$$C_{n-gram} = \sum_{i=1}^w (k - (i - 1)) = k \cdot w - \frac{(w-1) \cdot w}{2} = \frac{2kw - w^2 + w}{2} \quad (1)$$

For example, the total number of n-grams is calculated as 6 by applying the Eq. (1) for Table 3. When we want to apply the same method for invoices, every n-gram sequence is created starting from 1-gram up to the specified maximum n-gram value. Thus, the n-gram sequences are achieved like the invoice date (the n-gram value must be at least 3 to detect the date "20 June 2022"). The maximum n-gram value,  $n$  was determined as 6 considering the long expressions such as address and IBAN number. Let  $L$  be the number of lines in the document and  $k$  be the number of words in each line. The total number of n-grams in the document will be calculated as follows:

$$\sum_{i=1}^L C_{n-gram}^i \leq L \frac{2kw - w^2 + w}{2} \quad (2)$$

In Eq. (2),  $C_{n-gram}^i$ , shows the number of n-grams to be formed in the line  $i$ . Let  $k$  be the number of words in the line. In the case where  $w \geq k$ , the constraint as  $w = k$  should be considered.

The Tesseract OCR, where we receive the necessary information for the n-gram design, also offers some features that would be useful in machine training. The information of each string expression can be obtained from Tesseract OCR such as

width, height, number of lines, coordinate information of the expression, page number, page width, and page height. Then, the pattern of each n-gram sequence is extracted. The pattern of the text of the n-gram is formed via replacing all lowercases with "x", all uppercases with "X", all numbers with "0" and all special characters with "?". The purpose of this pattern is to provide the model with the best learning of the structure of each field to predict. For example, it may be not every expression as an alpha numerical one in the invoice date. Although it usually has a special pattern (eg, 13.09.2018), in some cases only part of the sequence may be a string expression (eg, 8 October 1993). In our work, we used information such as total letters, total digits, total special characters, and the type of the first and last character of the pattern as an attribute. Although the pattern is used in this way in this work, the pattern can also be used by making One Hot Encoding, which means that categorical variables are represented using a binary vector. In One Hot Encoding firstly, we create vectors consisting of 0 or 1 values as much as the number of categorical values for this operation. Then we create a vector by assigning 1 to the value corresponding to its index and 0 to the others for each categorical data. For example, there are data in three categories as "blue", "red" and "green". When these fields are decomposed into binary, the value "red" is converted to the vector (0, 1, 0).

In addition to the features mentioned above, we also used features such as the number of words in each n-gram, the number of characters in each n-gram, left margin, right margin, left alignment, right alignment, the closest 1-gram on the left, top, right and bottom. The nearest left and the nearest top n-grams are most likely to be keywords. It is conceivable that these n-grams will increase the effectiveness of the training, considering that each field has different keywords. However, there are some problems that need to be solved at this point. There are many different types of invoices. For this reason, the keywords can be a variable structure rather than a fixed one. For example, the keywords can be "invoicenummer", "belegnummer" or "rechnungnummer" on an invoice where the invoice number is to be predicted. Also another problem is that these keywords can be shortened in some invoices (for ex. "rech.num.") or that may be misspelled due to human errors (for ex. "recnhugnummr"). At this point, the Levenshtein and the Jaro-Winkler methods of similarity (distance) can solve these problems instead of exact matching. These methods provide us calculation of the distances between the strings from two existing sequences (Schulz and Mihov 2002). The first sequence is potential keywords that we have already obtained from n-gram. The second sequence is a specified keyword checklist. The frequencies of the potential keywords of all the invoices are calculated to create the specified keyword checklist. Keywords that exceed a specified threshold value of similarity are added to the result list. The distance between the keyword with the highest similarity is added as a feature.

## 2.3. The Levenshtein distance

There are three basic operations in calculating Levenshtein distance such as replace, insert and delete. The goal is to transform one string into another using the minimum number of basic operations (Haldar and Mukhopadhyay, 2011). The Levenshtein distance between any strings  $a$  and  $b$  is calculated as a recursive function as follows:



$$lev_{a,b}(i,j) = \begin{cases} \max(i,j) & , \text{if } \min(i,j) = 0, \\ \min \begin{cases} lev_{a,b}(i-1,j) + 1 \\ lev_{a,b}(i,j-1) + 1 \\ lev_{a,b}(i-1,j-1) + 1_{(a_i \neq b_j)} \end{cases} & , \text{otherwise.} \end{cases} \quad (3)$$

In Eq. (3), the Levenshtein distance is calculated between the first  $i$  character of the sequence  $a$  and the first  $j$  character of the sequence  $b$ .  $1_{(a_i \neq b_j)}$  is the token function, i.e. it equals 0 when  $a_i = b_j$ , otherwise equals to 1. The first row corresponds to the deletion, the second row to the insert, and the third row corresponds to match operations in section  $min$  in the Eq. (3).

Let's look at the calculation of the Levenshtein distance between the words "PAIN" and "CHAIN" as an example. If we use the Eq. (3), the first thing to do to convert the word "PAIN" to "CHAIN" is to add the letter "C". Subsequently, the letter "P" is converted to the letter "H" by making a replacement operation. Since the remaining three letters are the same, no action is taken on them. Thus, the Levenshtein distance between these two words is equal to 2.

### 2.4. The Jaro-Winkler distance

Another method to measure the similarity between two strings is the Jaro-Winkler distance (Wang et al., 2017). In order to calculate this distance between two given strings  $s_1$  and  $s_2$ , the Jaro similarity value must be found before as follows:

$$sim_j = \begin{cases} 0 & , \text{if } m = 0, \\ \frac{1}{3} \left( \frac{m}{|s_1|} + \frac{m}{|s_2|} + \frac{m-t}{m} \right) & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

where,  $|s|$  is the length of the string,  $m$  is the number of matching characters and  $t$  is half the number of transpositions. Two characters from  $s_1$  and  $s_2$  respectively, are considered matching only if they are the same and not farther than

$$\left\lfloor \frac{\max(|s_1|, |s_2|)}{2} \right\rfloor - 1 \quad (5)$$

positions, where  $\lfloor . \rfloor$  denotes the lower bound integer value of the operand. For example, the matching range value of a 6-character word is 2. A match is accepted for the character "B" between the words "BXXXXX" and "XBXXXX", while the match is not accepted between the words "BXXXXX" and "XXXXBX". The number of matching (but different sequence order) characters divided by 2 defines the number of transpositions. For example, in comparing CRATE with TRACE, only 'R', 'A', 'E' are the matching characters, i.e.  $m=3$ . Although 'C', 'T' appears in both strings, they are farther apart than 1 (the result of  $\lfloor \frac{5}{2} \rfloor - 1$ ), so  $t=0$ . In "DwAyNE" versus "DuANE" the matching letters are already in the same order D-A-N-E, so no transpositions are needed (Jaro, 1989). So, the Jaro-Winkler similarity value (that is used for distance calculation) can be calculated as follows

$$sim_w = sim_j + l \cdot p(1 - sim_j). \quad (6)$$

In Eq. (6), the  $sim_j$  is the Jaro similarity value (we got in Eq. (4)),  $l$  is the length of common prefix at the start of the string up to maximum of 4 characters and  $p$  is scaling factor (default

value 0.1) should not exceed 0.25 (i.e., 1/4, with 4 being the maximum length of the prefix being considered), otherwise the similarity could become larger than 1. Then the Jaro-Winkler distance  $d_w$  is defined as

$$d_w = 1 - sim_w \quad (7)$$

The rest of the calculation on the invoice data according to the Jaro-Winkler similarity is made similar to the Levenshtein calculation given in section 2.4 and the calculated Jaro-Winkler similarity values are added into attributes list.

### 2.5. Prediction models

The Random Forest model that was concluded as the best model in this work, is based on the Decision Tree approach (Quinlan, 1986). The idea in Decision Trees is to create the decision structure by using all available attribute values in the most efficient way (Mashat et al., 2012). In this way we can achieve high success rates very quickly. One of the most used decision tree algorithms is the C4.5 algorithm to create trees (Xiaoliang et al., 2009).

The selection of attributes used in decision nodes is based on "information gain" in the C4.5 algorithm. The concept of entropy (uncertainty level) is used in determining the information gain. The following calculations to determine information gain of a given attribute  $A$  must be performed:

$$info(D) = - \sum_{i=1}^m p_i \log p_i, \quad (8)$$

$$info_A(D) = \sum_{j=1}^v \frac{|D_j|}{|D|} info(D_j), \quad (9)$$

$$Gain(A) = info(D) - info_A(D), \quad (10)$$

where

$p_i$  : The ratio of the number of labels with class  $i$  to the total number of labels,

$D_j$  : Subset that contains only the  $j$ .th value of a given attribute  $A$  in the dataset,

$info(D)$  : Total entropy value in the data set,

$info_A(D)$  : Total entropy value after splitting according to different values of the attribute  $A$ ,

$Gain(A)$  : The information gain of the attribute  $A$ .

The total entropy value of the system is calculated with the Eq. (8) to calculate the information gain with a certain attribute. The entropy value of each attribute in the system is calculated separately with the Eq. (9). Then, the information gain provided by the value of that attribute to the system is obtained with the Eq. (10). When the calculations are completed, the gain values calculated for each attribute are compared. The attribute that provides the highest value is determined as the decision node to the next split. These nodes are combined to create an optimal decision tree structure.

Another method used to create decision trees is the Gini index method developed by IBM (Gelfand et al., 1991). In this method, calculations are made similar to the Eqs. (8) - (10). The

amount of information is calculated with the help of the Gini index determined in Eq. (11) instead of Eq. (8):

$$gini(D) = 1 - \sum_{i=1}^m p_i^2 . \quad (11)$$

One of the biggest problems in machine learning is overfitting. This problem is that the system loses its flexibility as a result of over-training. In the training of the decision tree model, the system creates a special structure that takes into account the details. Outlier observations may also be included in these details as a result of the model's over-training. For example, after the required eliminations are made in the decision tree, 99.990 of 100.000 data return True and the remaining 10 return False value. A separate branch can be created for these 10 data, which is inconsistent observation with the system's overfitting. This negatively affects the optimum number of branches in the system.

The Random Forest model is the solution to the above-mentioned overfitting problem of decision trees. The random forest model consists of a random combination of multiple decision trees (Aydın, 2018). This method was developed by Leo Breiman in 2001 (Breiman, 2001). The chosen decision trees should be as different as possible. The low correlation between decision trees will allow the system to yield more accurate results by lowering the amount of deviation in the overall prediction mechanism. The Model does not give equal weight to each tree that makes up itself. The model uses out-of-Bag (OOB) error rate to determine the weight of these trees. The data set is divided into 2/3 of the training and 1/3 of the test. As a result of this process, the tree with the lowest error is given the highest weight, while the tree with the highest error is given the lowest weight. In the classification problem, each tree in the forest makes a prediction. The prediction value with the majority is determined as the overall prediction value of the model.

## 2.6. Evaluation metrics

For the evaluation of binary classification models, various metrics are used based on confusion matrix using TP (True Positive), FP (False Positive), TN (True Negative), and FN (False Negative) values (Yıldız and Karadeniz, 2019):

*TP = The number of correctly confirmed cases,*

*TN = The number of correctly rejected cases,*

*FP = The number of wrongly confirmed cases,*

*FN = The number of wrongly rejected cases.*

The most used model evaluation metrics are precision, recall and F1-score values, where the precision is the number of correctly identified positive results divided by the number of all positive results, including those not identified correctly, and the recall is the number of correctly identified positive results divided by the number of all samples that should have been identified as positive:

$$precision = \frac{TP}{TP+FP} , \quad (12)$$

$$recall = \frac{TP}{TP+FN} . \quad (13)$$

The F1-score value is a more accurate evaluation metric, especially in cases where the number of positive and negative data in the training set is unbalanced. The F1-score is calculated from the precision and recall as their harmonic mean as follows:

$$F_1 = 2 \cdot \frac{precision \cdot recall}{precision + recall} . \quad (14)$$

In our study, precision, recall and F1-score metrics were also used to evaluate the models.

## 3. Proposed Method

### 3.1. Related work

There are some studies in the literature to predict invoice fields from image files. Although some of them resemble our work in terms of ideas, there are differences with some critical points. The following are some of these works identified as a result of the literature review. An automatic indexing approach was used in the study (Esser et al., 2012). The desired inputs must be in precisely determined positions in this approach. Results are obtained by making index assignments to the information in this position. Although correct results can be obtained, changing the positions of the information on the invoices negatively affects the results. Therefore, only invoices in allowed templates can give good results. The Intellix is another work with similarities to the automatic indexing approach (Schuster et al., 2013). In the Intellix method proposed in the work, the classification process is performed first. Then, according to the rules, the information is extracted from the invoice. The positions in the invoice information must always be the same and precise to make the results accurate. It is necessary to use templates to get the correct results. The approach in the study (Liu et al., 2019) is to ensure that the 2-dimensional structures of the documents are preserved. It is aimed to transfer information without the need for any template. Each text has been converted into graph format and the position information of the words that they represent has been assigned to the vertices in this graph. Thus, each word has become a vector whose coordinates are determined in space. The training was carried out with BiLSTM - CRF model. The main purpose of the work (Katti et al., 2018) is to create the model that best represents the 2-dimensional structure in the documents as in the work (Liu et al., 2019). The information is used to describe each letter in the words and their position on the document. The model consists of two main parts as encoder and decoder. As a result of the training, they achieved good results in sections such as invoice number and invoice date, unlike in sections such as seller name and address. The CloudScan approach presented in the study (Palm et al., 2017) does not require a template, unlike automatic indexing and Intellix. The working principle is based on the n-gram system. Each sentence is evaluated based on the sequence of words. The information that matches the correct format has been transferred to the system. In addition to the Logistic Regression model used as baseline, LSTM (Long Short-Term Memory) model was also used. The CloudScan approach is the most related work to the approach proposed in this work.

### 3.2. Proposed Approach

The proposed in this study approach does not require any invoice document template, unlike automatic indexing and

Intellix. The working principle is also based on the n-gram analysis as in the CloudScan approach. Nevertheless, there are some important differences between CloudScan and the proposed approach. Both the training models and vectorization techniques used are different. The main difference of the proposed approach is using of the word distance measurement methods such as Levenshtein and Jaro-Winkler for vectorization technics. CloudScan uses Logistic Regression and LSTM models while the Random Forest model as the main training model is used in this work. Contrary to these differences, N-gram creation and feature calculation methods are similar to those in the CloudScan approach.

n-gram to the potential keywords used for training are given in Table 4.

Table 4. Additional Levenshtein Distance Attributes Used in Training

Attribute	Description
<i>InvoiceDateLevDistance</i>	Levenshtein Distance value used for Invoice Date
<i>DeliveryDateLevDistance</i>	Levenshtein Distance value used for Delivery Date
<i>DueDateLevDistance</i>	Levenshtein Distance value used for Due Date
<i>InvoiceNoLevDistance</i>	Levenshtein Distance value used for Invoice No
<i>TotalGrossLevDistance</i>	Levenshtein Distance value used for Total Gross
<i>TotalNetLevDistance</i>	Levenshtein Distance value used for Total Net
<i>VatAmountLevDistance</i>	Levenshtein Distance value used for Vat Amount
<i>IbanLevDistance</i>	Levenshtein Distance value used for IBAN

## 4. Computational Results

### 4.1. Dataset

A dataset containing of 9910 invoice images collected by authors from different firms is divided into 80% training and 20% test sets. Since the invoices contain sensitive financial information, the dataset cannot be presented as an open source. A total of 34 features were used given in Tables 2 and 4. There are 26 features in Table 2 and 8 features in Table 4. An example of invoice image that is used in training is shown in Fig. 4. The invoice can be seen in Table 5, where all processes are completed and ready for training. The labeling process was done by two experts. While one expert performed the labeling, the other one checked the labelled fields.

The machine learning models are used such as Random Forest, Gradient Boosting Machine, Extreme Gradient Boosting, K-Nearest Neighbors, AdaBoost and Decision Tree to predict the labels for all fields. There is an imbalance between labeled and unlabeled data used in training. Although there is single field (for example, invoice number) on a single invoice, there is an average of 1500 to 2000 unclassified data (n-grams). This situation causes unbalanced data problem (Chawla et al., 2002). If the unbalanced data problem is not solved, the model may qualify very few classes of observations as completely outlier. For this reason, whole data in the minor class (labeled) is taken, while only a certain part of the data in the major class (unlabeled) is taken. As a result of the training, the best ratio of the number of unlabeled data to the number of labeled data was determined as 15. Its effect on training may be different each time since the unlabeled data will be chosen randomly. Apart from these, the overfitting problem has been prevented by limiting the number of invoices of the same type. The training has been repeated 500 times because of this randomness.

```
def calc_levenshtein(i,j):
    rows = len(i) + 1
    cols = len(j) + 1
    dist = create_zeros_matrix(i,j)
    for col in range(1,cols):
        for row in range(1,rows):
            if i[row-1] == j[col-1]:
                cost = 0
            else:
                cost = 1
            dist[row][col] = min(dist[row-1][col]+1,
                                dist[row][col-1]+1,
                                dist[row-1][col-1] + cost)
    ratio = ((len(i)+len(j) - dist[row][col]) / (len(i) + len(j)))
    return ratio
pot_keys = list of potential keys
control_keys=list of control keys
result_list = []
for pot_key in pot_keys:
    ratio_list = []
    for control_key in control_keys:
        ratio = calc_levenshtein(pot_key, control_key)
        ratio_list.append(ratio)
    result_list.append(max(ratio_list))
```

Figure 3. Pseudocode of the algorithm using the Levenshtein Distance

In the proposed approach, firstly Levenshtein distances are calculated between potential keywords and members in the control keywords list. In order the method to work properly, the keyword checklist, which are compared with the potential keywords, should be carefully selected. When the number of elements in this list is more than one, the distance of the keyword closest to the potential keyword is taken and processed in the system. The pseudocode of the algorithm is used is given in Fig. 3.

Since the invoices used in this work are in German, it was sufficient to use 1-gram to identify potential keywords. It would be better to use 2-gram in case of working on a Turkish or English invoice. Because potential keywords consist of 2 words in these languages such as "Fatura Numarasi", "Fatura Tarihi" or "Invoice Number", "Invoice Date". However, these structures can be expressed in a single word in German, such as "Rechnungsnummer", "Rechnungsdatum", "Belegdatum". After the 1-gram structure of the words on the invoice is created, Levenshtein distances are calculated by comparing them with each element in the keyword checklist. Additional attributes used in the proposed approach reflecting Levenshtein distances of the e-ISSN: 2148-2683

4.2. Results and Discussion

Computational experiments were performed on the computer with 2.3 Ghz 8-core 9th-generation Intel Core i9 processor, AMD Radeon Pro 5500M with 4GB of GDDR6 memory and 16GB of 2666 MHz DDR4 memory. The training process took 164 minutes for all invoices. Python was used as the programming language, numpy and pandas were used as a library in this work. The scores for labeled data such as "invoice date", "invoice number", "due date", "delivery date", "total gross", "total net", "vat amount" and "IBAN" are given in tables 6-13. The models generally using the F1-scores because of the unbalanced data are compared. The bold numbers represent the best F1-scores in the tables. In the Random Forest, which is concluded as the best prediction model, we achieve F1 scores as 0.97 for the "invoice number", 0.97 for the "invoice date", 0.88 for the "due date", 0.76 for the "delivery date", 0.93 for "total gross", 0.89 for "total net", 0.92 for "vat amount" and 0.99 for "IBAN". When the values are analyzed, the Extreme Gradient Boosting model achieved the second closest results to the Random Forest. The other models did not show any obvious superiority over each other.

The training results of all labeled fields to be predicted were obtained separately. The results obtained for each model and each distance measurement technique can be seen in Tables 6-13. First of all, there are two main reasons for special training for each field. First reason is ensuring maximum score by choosing different attributes that best represent each tag. The second is to be able to choose different models that provide the

best success for the field. Note that, it may not always be possible to achieve the best score in all fields with a single model (Nasiboğlu and Akdoğan, 2020).

According to the Tables 6-13, it can be seen that the best model is Random Forest for all fields. However, as can be seen in Table 6, Table 7 and Table 13, the Extreme Gradient Boosting model was able to produce results close to Random Forest. In the future, it can be thought that these two models will be successful in the estimation of other fields such as address, tax number. At the same time, the values of two different distance measurement methods can be evaluated in the tables. Although Jaro-Winkler and Levenshtein methods obtain very close scores, we can say that Levenshtein method gives a better result.

If we evaluate the results on the basis of fields, high scores were obtained on invoice number, invoice date and IBAN. The reason for this success is that these tagged data, coordinates and potential words around them are similar in many invoices. The reason for not achieving such high success in the amounts section is because the labeled data can be located in very variable regions on the page. For example, total amount may be at the top on the second page in a multi-page invoice, while it is in the middle on the page of single-page invoice. It can also be located on both the right and left side on the page. Despite these variations, a satisfactory success has been achieved for the amount fields. Due to the insufficient amount of labeled data in the delivery date and the due date fields, the desired success can not be achieved for this fields.

Table 5. Part of the Sample Invoice Ready for Training

RawText	Pattern	IsFirstStr	IsFirstInt	...	InvoiceDateLevDistance	TotalNetLevDistance
Gesamt	Xxxxxx	1	0	...	0	0
Gesamt netto	Xxxxxx xxxxx	1	0	...	0	0
Gesamt netto 483,60	Xxxxxx xxxxx 000?00	1	0	...	0	0
Gesamt netto 483,60 €	Xxxxxx xxxxx 000?00 ?	1	0	...	0	0
netto	xxxxx	1	0	...	0.35	0.65
netto 483,60	xxxxx 000?00	1	0	...	0.35	0.65
netto 483,60 €	xxxxx 000?00 ?	1	0	...	0.35	0.65
483,60	000?00	0	1	...	0.25	1





Figure 4. A Sample Invoice image from the Dataset

Table 6. Precision, Recall and F1 Scores for “invoice number”

Model	Precision Lev.	Recall Lev.	F1 Lev.	Precision J-Win	Recall J-Win.	F1 J-Win
Random Forest	0.99	0.96	<b>0.97</b>	0.99	0.96	0.97
Gradient Boosting Machine	0.96	0.91	0.93	0.96	0.90	0.93
Extreme Gradient Boosting	0.98	0.97	0.97	0.98	0.97	0.97
K-Nearest Neighbors	0.93	0.95	0.94	0.90	0.94	0.92
AdaBoost	0.94	0.89	0.92	0.94	0.88	0.91
Decision Tree	0.95	0.96	0.95	0.95	0.96	0.95

Table 7. Precision, Recall and F1 Scores for “invoice date”

Model	Precision Lev.	Recall Lev.	F1 Lev.	Precision J-Win	Recall J-Win.	F1 J-Win
Random Forest	0.97	0.97	<b>0.97</b>	0.97	0.97	0.97
Gradient Boosting Machine	0.93	0.95	0.94	0.93	0.94	0.94
Extreme Gradient Boosting	0.96	0.97	0.96	0.96	0.97	0.96
K-Nearest Neighbors	0.91	0.93	0.92	0.92	0.93	0.93
AdaBoost	0.90	0.94	0.92	0.90	0.93	0.92
Decision Tree	0.97	0.96	0.96	0.97	0.96	0.96

Table 8. Precision, Recall and F1 Scores for “due date”

Model	Precision Lev.	Recall Lev.	F1 Lev.	Precision J-Win	Recall J-Win.	F1 J-Win
Random Forest	0.97	0.81	<b>0.88</b>	0.95	0.81	0.87
Gradient Boosting Machine	0.90	0.64	0.75	0.87	0.65	0.74
Extreme Gradient Boosting	0.91	0.80	0.85	0.91	0.81	0.86
K-Nearest Neighbors	0.66	0.61	0.63	0.64	0.56	0.60
AdaBoost	0.85	0.53	0.65	0.69	0.56	0.61
Decision Tree	0.78	0.80	0.79	0.74	0.78	0.76

Table 9. Precision, Recall and F1 Scores for “delivery date”

Model	Precision Lev.	Recall Lev.	F1 Lev.	Precision J-Win	Recall J-Win.	F1 J-Win
Random Forest	0.93	0.64	<b>0.76</b>	0.89	0.63	0.74
Gradient Boosting Machine	0.83	0.44	0.58	0.76	0.52	0.62
Extreme Gradient Boosting	0.84	0.61	0.71	0.81	0.57	0.67
K-Nearest Neighbors	0.65	0.50	0.56	0.70	0.57	0.63
AdaBoost	0.65	0.34	0.45	0.83	0.34	0.48
Decision Tree	0.63	0.64	0.64	0.64	0.62	0.63

Table 10. Precision, Recall and F1 Scores for “total gross”

<b>Model</b>	<b>Precision Lev.</b>	<b>Recall Lev.</b>	<b>F1 Lev.</b>	<b>Precision J-Win</b>	<b>Recall J-Win.</b>	<b>F1 J-Win</b>
<i>Random Forest</i>	0.97	0.88	<b>0.93</b>	0.98	0.88	0.93
<i>Gradient Boosting Machine</i>	0.93	0.69	0.79	0.93	0.68	0.79
<i>Extreme Gradient Boosting</i>	0.96	0.88	0.92	0.96	0.88	0.92
<i>K-Nearest Neighbors</i>	0.87	0.78	0.82	0.84	0.77	0.80
<i>AdaBoost</i>	0.86	0.67	0.76	0.85	0.64	0.73
<i>Decision Tree</i>	0.86	0.88	0.87	0.85	0.88	0.86

Table 11. Precision, Recall and F1 Scores for “total net”

<b>Model</b>	<b>Precision Lev.</b>	<b>Recall Lev.</b>	<b>F1 Lev.</b>	<b>Precision J-Win</b>	<b>Recall J-Win.</b>	<b>F1 J-Win</b>
<i>Random Forest</i>	0.96	0.83	<b>0.89</b>	0.96	0.83	0.89
<i>Gradient Boosting Machine</i>	0.90	0.55	0.68	0.89	0.55	0.68
<i>Extreme Gradient Boosting</i>	0.93	0.81	0.86	0.93	0.81	0.86
<i>K-Nearest Neighbors</i>	0.79	0.70	0.74	0.76	0.69	0.73
<i>AdaBoost</i>	0.78	0.52	0.62	0.76	0.52	0.62
<i>Decision Tree</i>	0.80	0.83	0.82	0.81	0.82	0.82

Table 12. Precision, Recall and F1 Scores for “vat amount”

<b>Model</b>	<b>Precision Lev.</b>	<b>Recall Lev.</b>	<b>F1 Lev.</b>	<b>Precision J-Win</b>	<b>Recall J-Win.</b>	<b>F1 J-Win</b>
<i>Random Forest</i>	0.96	0.88	<b>0.92</b>	0.96	0.87	0.92
<i>Gradient Boosting Machine</i>	0.91	0.63	0.75	0.91	0.62	0.74
<i>Extreme Gradient Boosting</i>	0.95	0.88	0.92	0.94	0.87	0.91
<i>K-Nearest Neighbors</i>	0.85	0.80	0.82	0.85	0.78	0.81
<i>AdaBoost</i>	0.80	0.59	0.68	0.82	0.57	0.67
<i>Decision Tree</i>	0.85	0.85	0.85	0.82	0.85	0.83

Table 13. Precision, Recall and F1 Scores for "IBAN"

Model	Precision Lev.	Recall Lev.	F1 Lev.	Precision J-Win	Recall J-Win.	F1 J-Win
Random Forest	0.99	0.99	<b>0.99</b>	0.99	0.99	0.99
Gradient Boosting Machine	0.98	0.97	0.98	0.98	0.97	0.98
Extreme Gradient Boosting	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
K-Nearest Neighbors	0.97	0.99	0.98	0.98	0.99	0.99
AdaBoost	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
Decision Tree	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99

## 5. Conclusion

In this work, the machine learning models based on n-gram structure were discussed to recognize information on the invoice images. The conversion of the words on the invoice into n-grams and the using of Levenshtein and Jaro-Winkler distances between words were effective in the training of the models. Although there is not a big difference between Jaro-Winkler and Levenshtein distances' calculation methods, the Levenshtein distance is slightly better, as seen in the results. The effective attributes' list was discovered to increase the performance values of the models. The data set, collected by authors from different firms, containing 9910 invoice images were divided into 80% training and 20% test sets. The labeling process performed by two expert. While one expert performed labeling for the fields, the other one checked the labeled fields. The F1 scores were used to compare the models because of the unbalanced data.

When the performances of the models were compared, it was observed that the Random Forest model was superior to other models with a value of 0.9137 average F1 score. In addition, the Random Forest model was found to be robust to the overfitting problem. The average scores of the other models were determined as Gradient Boosting Machine with 0.80, Extreme Gradient Boosting with 0.8975, K-Nearest Neighbour with 0.8012, AdaBoost with 0.7462 and Decision Tree with 0.8587 F1-scores.

In the future studies, it is aimed to construction of the models and the additional attributes for effective extraction of invoice information. Also, it is planned to construct effective approaches to extract other information such as address, postal code and customer number on the invoice images.

## References

Aydın, C. (2018). Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanılarak İtfaiye İstasyonu İhtiyacının Sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 14(4), 169–175.

- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine learning*, 45(1), 5–32.
- Chawla, N.V., Bowyer, K.W., Hall, L.O., & Kegelmeyer, W.P. (2002). SMOTE: Synthetic Minority Oversampling Technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16, 321–357.
- Esser, D., Schuster, D., Muthmann, K., Berger, M., & Schill, A. (2012). Automatic indexing of scanned documents: a layout-based approach. *Document Recognition and Retrieval*, XIX, 8297, 82970H.
- Gelfand, S.B., Ravishankar, C.S., & Delp, E.J. (1991). An iterative growing and pruning algorithm for classification tree design. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13(2), 163-174.
- Haldar, R., & Mukhopadhyay, D. (2011). *Levenshtein distance technique in dictionary lookup methods: an improved approach*. <https://arxiv.org/abs/1101.1232>. Accessed 23.05.2020.
- Jaro, A. (1989). Advances in record-linkage methodology as applied to matching the 1985 census of tampa. *Journal of the America Statistical Association*, 84(406), 414-420.
- Katti, A., Reisswig, C., Guder, C., Brarda, S., Bickel, S., Hohne, J., & Faddoul, J. (2018). Chargrid: Towards understanding 2d documents. *Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*. Brussels, Belgium, pp. 4459-4469.
- Klein, B., Agne, S., & Dengel, A. (2004). Results of a Study on Invoice-Reading Systems in Germany. In: Marinai S, Dengel AR (eds.), *Document Analysis Systems VI, ser. Lecture Notes in Computer Science*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 451–462.
- Liu, X., Gao, F., Zhang, Q., & Zhao, H. (2019). Graph convolution for multimodal information extraction from visually rich documents. *Proceedings of the 2019 Conference of the North. Minnesota. NAACL*.
- Mashat, A., Fouad, M., Yu, P., & Gharib, T. (2012). A decision tree classification model for university admission system. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 3(10), 17–21.



- Nasiboğlu, R., & Akdoğan, A. (2020). Estimation of the secondhand car prices from data extracted via web scraping techniques. *Journal of Modern Technology and Engineering*, 5(2), 157-166.
- Palm, R., Winther, O., & Laws, F. (2017). CloudScan - A configuration-free invoice analysis system using recurrent neural networks. *14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, Kyoto, Japan, pp. 406 – 413.
- Quinlan, J. (1986). Induction of decision trees. *Machine learning*, 1(1), 81–106.
- Schulz, K., & Mihov, S. (2002). Fast string correction with Levenshtein-automata. *International Journal of Document Analysis and Recognition*, 5(1), 67–85.
- Schuster, D., Muthmann, K., Esser, D., Schill, A., Berger, M., Weidling, C., Aliyev, K., & Hofmeier, A. (2013). Intellix – end-user trained information extraction for document archiving. *12th International Conference on Document Analysis and Recognition*, pp 101–105.
- Smith, R. (2007). An overview of the Tesseract OCR engine. *Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007)*, 2007, pp. 629–633.
- Wang, Y., Qin, J., & Wang, W. (2017). Efficient Approximate Entity Matching Using Jaro-Winkler Distance. *18th International Conference on Web Information Systems Engineering*, Puschino, Russia, pp 231-239.
- Watanabe, T., Tsukada, H., & Isozaki, H. (2009). A succinct n-gram language model. *International Joint Conference on Natural Language Processing (IJCNLP)*, Singapore, pp. 341–344.
- Xiaoliang, Z., Jian, W., Hongcan, Y., & Shangzhuo, W. (2009). Research and Application of the improved Algorithm C4.5 on Decision Tree. *International Conference on Test and Measurement (ICTM)*, Hong Kong, 2, 184-187.
- Yıldız, İ., & Karadeniz, A. (2019). Enhancement of Breast Cancer Diagnosis Accuracy with Deep Learning. *European Journal of Science and Technology*, (Special Issue), 452-462.
- Zelic, F., & Sable, A. (2020). A comprehensive guide to OCR with Tesseract, OpenCV and Python. <https://nanonets.com/blog/ocr-with-tesseract/>. Accessed 02.06.2020.